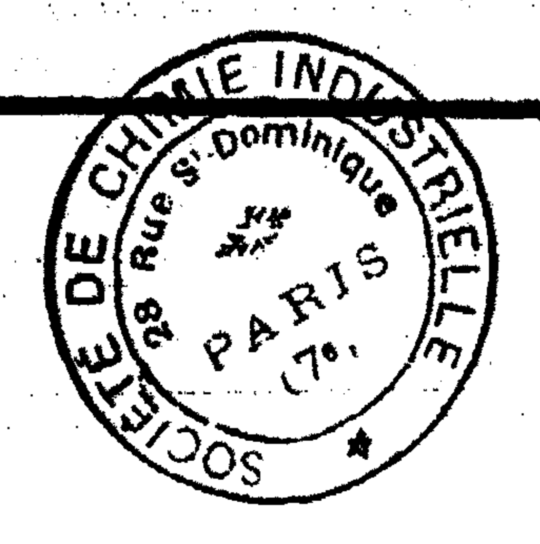
A propos du centenaire des découvertes de Michel Faraday, 1831-1931

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

A propos du centenaire des découvertes de Michael Faraday (1831-1931)

Paris **1931**



Note de la Rédaction.

L'an dernier, l'Institution of Electrical Engineers conviait les Membres de notre Société à prendre part à la célébration du centenaire des découvertes de Faraday, à Londres, du 21 au 26 septembre 1931. Une quarantaine de nos Membres répondirent à cet appel, dont, en premier lieu, notre Président, M. le Professeur Henri Chaumat. Ils assistèrent aux diverses cérémonies organisées en l'honneur de Faraday par la Royal Institution et par l'Institution of Electrical Engineers ainsi qu'à la très brillante et instructive exposition, ouverte à cette occasion à l'Albert Hall et ils purent prendre part à quelques-unes des très nombreuses visites techniques organisées par l'Institution.

A son retour en France, M. le Professeur Chaumat convia les personnalités dirigeantes de la Royal Institution, de l'Institution of Electrical Engineers et de la British Association à notre Semaine de novembre et au dîner qui fut présidé par M. Pomaret, Sous-Secrétaire d'Etat à l'Enseignement Technique.

M. Chaumat fit, à l'ouverture de la Semaine, une conférence sur Faraday, dans laquelle il résumait l'ensemble de ses travaux.

D'autre part, le Journal Le Times avait publié, le 21 septembre 1931, un numéro spécial où 13 pages étaient consacrées, par les principaux savants de divers pays, à la glorification de Faraday.

Notre Société a pensé qu'il serait agréable à ses Membres de recevoir, en supplément aux Bulletins habituels, un numéro contenant, avec le texte de la Conférence de M. Chaumat, la traduction des articles du Times. Le Directeur de ce Journal a bien voulu nous autoriser gracieusement à publier cette traduction et les différents auteurs

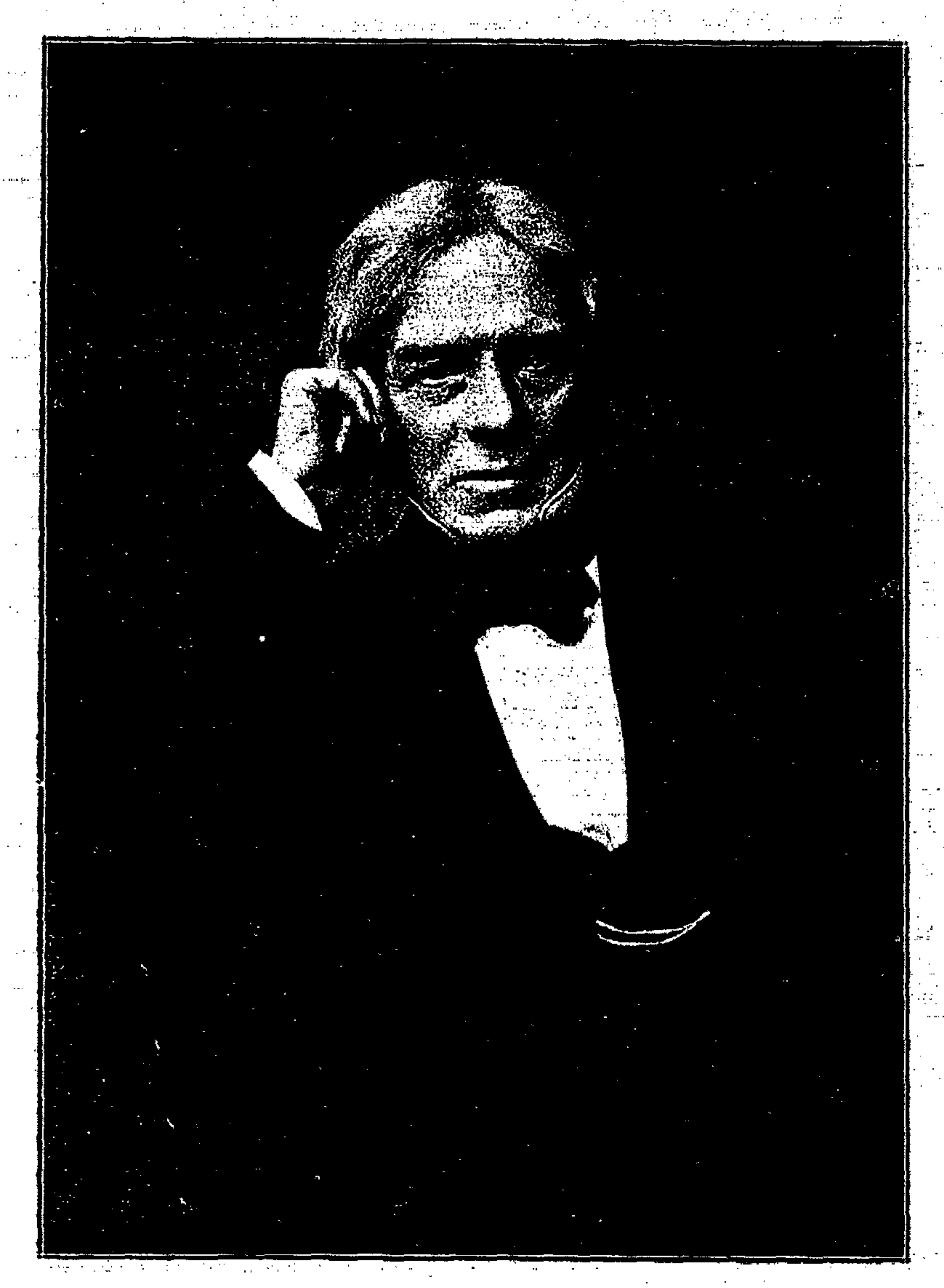
ont bien voulu se déclarer d'accord. Nous les prions de vouloir bien trouver ici l'expression de notre vive reconnaissance.

Un des auteurs a malheureusement disparu depuis, c'est le célèbre Professeur Ostwald.

La Royal Institution, à la demande de M. Rowell, Secrétaire de l'Institution of Electrical Engineers, a bien voulu nous autoriser à reproduire les photographies dont elle disposait; nous la remercions très vivement ainsi que le Rischgitz International Art Supply Agency à qui nous devons la photographie de la page de garde.

Nous devons aussi remercier notre ancien Président, M. Paul Bunet, M. Bellini, Secrétaire de la 5e Section et M. Montoriol, qui ont bien voulu nous aider de leurs lumières pour la traduction d'articles particulièrement techniques.

Nous remercierons enfin tout spécialement le Syndical Professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique et les diverses Sociétés qui ont bien voulu nous apporter en cette circonstance une aide matérielle qui nous fut si précieuse.



MICHEL FARADAY

Photograpie reproduite avec l'autorisation du Rischgitz International Art Supply Agency.

Sommaire.

Conférence de M. le Professeur Henri CHAUMAT

le 23 Novembre 1931

LA VIE ET L'OEUVRE DE MICHEL FARADAY [1]

par M. Henri CHAUMAT

Ancien Président de la Société française des Electriciens.

La « *Royal Institution* » de Grande Bretagne et « *l'Institution of Electrical Engineers* », c'est-à-dire deux des plus célèbres associations de l'Angleterre, se sont réunies pour célébrer le centenaire de la principale découverte de l'un des plus illustres parmi les savants qui ont marqué l'histoire des progrès de l'humanité, MICHEL FARADAY.

Il s'agit de la découverte de l'induction électromagnétique, faite le 29 août 1831.

Et si les deux compagnies se sont réunies pour cette commémoration, c'est, d'une part, parce que cette découverte a été faite dans les laboratoires de la *Royal Institution* à laquelle appartint MICHEL FARADAY dès le mois de mars 1813 et dont il devait porter par la suite la réputation et le rayonnement au plus haut degré.

D'autre part, la célébration de ce centenaire devait intéresser les électriciens, car toute l'industrie électrique est tributaire de l'Induction électromagnétique. Toutes les machines, génératrices ou moteurs, à courant continu ou à courants alternatifs, qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique ou inversement ; tous les appareils dits transformateurs qui ne font que changer la forme de l'énergie électrique et permettent le transport à grande distance de la force motrice; toutes ces machines, dans leur constitution, dans leur mode de fonctionnement, sont basées sur les lois de l'Induction électromagnétique.

Sans cette découverte fondamentale de FARADAY et sans les travaux et recherches qui, de la part de milliers de savants des principaux pays, en ont été la suite et le couronnement, aucune application de l'électricité, ni les grands transports de force motrice, ni la traction électrique, ni l'électrochimie n'eussent été possibles. Et l'on imagine mal ce qu'aurait pu être le développement industriel du monde sans cela.

(1) Conférence faite par M. le Président H. CHAUMAT lors de la Semaine de novembre 1931.

Michel Faraday est né le 22 septembre 1791 à Newington Butts.

Il était le troisième d'une famille de quatre enfants, qui était originaire d'Irlande. Cette famille était des plus modestes et le père, forgeron, faisait vivre les siens de son travail.

La période qui couvre la fin du 18[e] siècle et le commencement du 19[e] est une période d'extrême détresse pour les classes laborieuses.

Le prix de la farine avait triplé entre 1760 et 1804... ; les salaires n'avaient pas suivi le prix de la vie... ; les campagnes se désertaient... Ne croirait-on pas parler de notre temps. C'était l'époque des guerres de Napoléon, qui présente en effet de grandes analogies avec la nôtre, tant il est vrai que les guerres engendrent toujours, entre autres maux, misère et vie chère.

Les Faraday avaient dû faire appel aux secours publics en 1801. Le plus bas de la misère fut atteint en 1802 et 1803. Le père était tombé malade. Son fils aîné, Robert, devait le remplacer et notre héros, Michel, fut, pendant huit années, d'abord apprenti relieur, puis ouvrier chez un libraire et il vivait dans la maison de son patron, gagnant tout d'abord juste de quoi manger.

Par suite de cet état misérable, la culture de Michel Faraday fut fort élémentaire, bornée à la lecture, à l'écriture et aux rudiments de l'arithmétique.

Mais Faraday avait le goût des livres, un goût exceptionnel qui s'était affirmé de très bonne heure et qui ne fut pas étranger au choix de sa profession.

Ses lettres heureusement conservées et les témoignages contemporains le dépeignent comme très enthousiaste, très émotif. Il lisait, dit-on, les poèmes de Byron avec des larmes.

De très heureux dons équilibrent cette exaltation. Il est consciencieux, appliqué ; il s'étudie, analyse ses sentiments avec rigueur, se montre sévère pour lui-même et veut voir clair en lui dès sa plus extrême jeunesse. C'est pourquoi il montre un goût particulier pour les ouvrages scientifiques et les faits contrôlés. Parmi les faits scientifiques, ceux de la chimie, en raison d'un appareillage simple, sont les plus faciles à reproduire et Faraday, à qui son frère aîné avait pu payer quelques leçons dès 1810, se passionne pour la chimie et cherche à reproduire les expériences qu'il a vu faire ou dont il a lu la description.

Il fait montre d'un très grand désintéressement et il est curieux de noter que cet homme, dont les découvertes allaient révolutionner le monde par leurs applications, ne s'attache qu'aux recherches de

science pure. C'est la vérité seule, la vérité des causes qui l'attire : les applications ne le retiennent pas.

Il est généreux, donne largement, ne se soucie pas de l'avenir. Il fait d'ailleurs partie d'une secte religieuse où l'on s'interdit l'épargne. « Le Seigneur y pourvoira » dit-il volontiers.

Il se maria le 12 juin 1821 avec la fille d'un joaillier, SARAH BARNARD, qui faisait partie de la même secte que lui-même. Cet événement lui donna le bonheur familial et la paix de l'esprit. L'union, dit-il lui-même dans une de ses lettres, a continué pendant 28 ans, elle n'a changé d'aucune manière, sauf par sa force et par sa profondeur.

Nul doute que cette heureuse union, qui apporta à FARADAY la paix du cœur, permit à son puissant esprit son plein épanouissement. Les fiançailles avaient été longues. MICHEL FARADAY et SARAH BARNARD avaient eu le temps de se connaître, de s'apprécier et d'être sûrs qu'une sympathie profonde unissait leurs vies. On raconte que la journée du mariage se passa comme les autres et que FARADAY travailla dans son laboratoire de la *Royal Institution* durant l'après-midi.

Grâce à l'influence de DAVY, FARADAY fut autorisé à amener sa jeune femme dans une chambre à la *Royal Institution* où le ménage occupa par la suite les appartements dont les titulaires successifs avaient été YOUNG, DAVY et BRANDE.

FARADAY mourut à Hampton Court le 25 août 1867. Ses dernières années furent attristées par une sorte de paralysie de la mémoire, qui, sans atteindre la valeur profonde de son esprit, l'empêchait de continuer avec suite des travaux fructueux. Mais il reste environ un demi-siècle d'un labeur formidable touchant à tant de domaines et d'une telle valeur qu'il a mérité sans conteste d'être appelé le plus grand expérimentateur que le monde ait jamais vu. Il a publié ses travaux dans un ouvrage célèbre, « *Recherches expérimentales* » où chaque paragraphe est numéroté. Ses notes de laboratoire se rapportant à cet ouvrage et qui ont été heureusement conservées, sont de même numérotées : le dernier paragraphe porte le numéro 16041.

Il faut se borner dans cette vie si remplie, aux choses essentielles pour donner une idée de la valeur des travaux de MICHEL FARADAY. Mais il est nécessaire cependant d'insister sur l'événement heureux qui devait avoir sur sa vie une influence décisive. C'est sa rencontre avec DAVY.

Au commencement du 19ᵉ siècle, des découvertes sensationnelles remuaient les esprits. A la suite de la découverte de l'action de l'élec-

tricité sur les muscles de la grenouille par GALVANI, à Bologne, en 1786, et de sa célèbre controverse avec un professeur de Pavie, VOLTA, ce dernier créa la pile qui est peut-être, comme on l'a dit, la plus simple et la plus merveilleuse des inventions. La pile mettait aux mains des savants un instrument d'investigation incomparable : l'électricité était définitivement asservie.

C'est la pile qui permet à NICHOLSON de décomposer l'eau en 1801 avec la batterie puissante de la *Royal Institution*. Dans ce même laboratoire, DAVY exécute pendant cinq années, toute une série de décompositions. Ce qui frappe surtout, c'est la décomposition de la potasse caustique à l'état fondu et la découverte du potassium, ce métal extraordinaire qui donne une flamme au contact de l'eau. Il fait triompher, avec RUMFORD, la théorie de la nature vibratoire de la chaleur. DAVY découvre le phénomène de l'arc électrique.

Toutes ces expériences sensationnelles font que la Société accourt en foule aux conférences de la *Royal Institution*. Elle y est attirée non seulement par l'attrait des expériences scientifiques et l'éclat du premier arc électrique, mais aussi par le charme et l'éloquence enthousiaste du jeune expérimentateur. DAVY attendait tout de la science : Il espérait une amélioration des conditions actuelles par l'union de tous dans le savoir et les arts utiles « Nous tenons déjà, « disait-il, l'aurore de ces jours heureux que nous pouvons raison-« nablement attendre. »

DAVY avait un caractère à la hauteur de son savoir. Il avait inventé la lampe de sûreté qui porte son nom et à laquelle tant de mineurs doivent la vie et il avait refusé d'en tirer bénéfice.

COLERIDGE, à qui l'on demandait de désigner celui qui l'avait le plus impressionné parmi les savants qu'il avait connus, répondit : « DAVY les dépasse tous. Son esprit souple et vif peut embrasser tous « les sujets. Les pensées brillantes giclent de son cerveau comme « la boue sous les pieds... »

C'est un homme que FARADAY eut la bonne fortune de rencontrer. Un des habitués du libraire chez qui travaillait FARADAY, avait pu lui procurer une carte d'auditeur pour assister aux conférences de DAVY à la *Royal Institution*.

FARADAY y prit des notes qu'il rédigea avec soin. Il les envoya à DAVY en lui disant son désir de se consacrer à la science « qui rendait ses serviteurs aimables et libéraux » et en le priant de vouloir bien lui accorder son appui à l'occasion.

DAVY sourit de ces idées naïves sur la supériorité morale des savants. Il convoqua cependant FARADAY à la *Royal Institution*, le fit

causer, l'encouragea dans son désir de servir la science tout en lui recommandant de ne pas négliger les perspectives d'avenir qu'il avait devant lui, la science rémunérant mal ceux qui se vouent à elle exclusivement. Il l'informait cependant de la vacance d'un poste d'assistant au laboratoire de la *Royal Institution* et devant la volonté et l'enthousiasme de FARADAY, il réussit à l'y faire entrer en mars 1813.

Quelques mois après, DAVY emmenait FARADAY comme secrétaire et assistant dans un voyage en France, Italie et Suisse, avec un passeport de NAPOLÉON, malgré l'état de guerre entre la France et l'Angleterre. Ce voyage d'études avait pour but de prendre contact avec les savants les plus réputés de ces pays, de les voir dans leurs laboratoires et de répéter avec eux leurs principales expériences.

Pendant les quelques mois qui précédèrent le départ en octobre, DAVY, aidé de FARADAY, réussit à montrer que le chlore ne contenait pas d'oxygène et était un corps simple. Et il prépara le composé de chlore et d'eau connu sous le nom d'hydrate de chlore avec lequel FARADAY devait plus tard, conseillé par DAVY, réussir à liquéfier le chlore.

C'est au cours de ce voyage à Paris, que DAVY et FARADAY rencontrent DUMAS au Jardin des Plantes, ARAGO à l'Observatoire. AMPÈRE vint un matin voir DAVY et lui apporta une substance nouvelle que venait de découvrir un fabricant de salpêtre du nom de COURTOIS. Ces chimistes français furent surpris, comme l'attesta plus tard DUMAS, de la variété et de l'ingéniosité des expériences auxquelles DAVY soumit cette nouvelle substance qu'ils croyaient être un corps composé. DAVY démontra par la suite que c'était un corps simple : l'iode.

Le voyage continua par l'Auvergne où l'on fit de la géologie, le Dauphiné, la Provence.

De Nice, ils vont à Turin par le Col de Tende, à Gênes où l'on fait des expériences pour essayer de montrer l'analogie de la décharge du poisson nommé torpille avec le courant électrique donné par la pile de VOLTA. Mais on ne peut réussir à décomposer l'eau. On ne conclut pas cependant à la négative en raison de la petite taille du poisson et de la température peut-être trop basse ; on était en février 1814. C'était la prudence et la sagesse scientifiques.

A Florence, DAVY se rendit au laboratoire de *l'Academia del Cimento* où il poursuivit ses travaux sur l'iode. C'est dans le même laboratoire que DAVY réussit à faire brûler du diamant dans un ballon rempli d'oxygène, en concentrant sur lui la chaleur solaire avec une forte lentille (le verre brûlant le Grand Duc). Il démontra que

cette combustion donnait du gaz carbonique pur, ce qui attestait la véritable nature du diamant.

On va à Rome, à Naples où l'on ne manque pas de faire par deux fois l'ascension du Vésuve. Et l'on y dîne un soir aux bords du cratère, à la lueur des torches, de poulet, de fromage et d'œufs cuits par la lave. On porte la santé de la « Vieille Angleterre » et l'on entonne le *God save the King* et le *Rule Britannia*. Un peu à l'écart, un Russe qui les a suivis chante lui aussi ses chants nationaux.

FARADAY s'émeut devant les environs de Terni couvents d'orangers, de myrtilles et de géraniums sauvages. Il en admire la belle cascade de 200 pieds. Il ne se doutait pas que grâce à ses propres découvertes, cette cascade devait devenir, un peu plus d'un siècle après, une importante source d'énergie électrique.

On quitte Rome en juin, on salue au passage à Milan le vieux VOLTA, alors au déclin de sa vie, et l'on arrive à Genève en juillet où DAVY, sa femme et FARADAY furent les hôtes du professeur DE LA RIVE dont FARADAY fit la conquête. C'est avec DE LA RIVE que FARADAY devait entretenir plus tard la première de ses nombreuses correspondances scientifiques.

On quitte Genève en septembre, on revient à Rome par Vicence, Venise, Bologne, Florence ; on renonce à aller à Constantinople où, leur dit-on, la peste fait des ravages.

En mars 1815 on est encore à Rome. NAPOLÉON s'était évadé de l'Ile d'Elbe. Les Cent jours commençaient. Les Romains s'agitaient dans l'attente des décisions de MURAT. Le retour est décidé. On a de la peine à trouver des chevaux de poste. On arrive cependant en avril à Bruxelles, et c'est enfin le retour dans la mère patrie dans la dernière semaine d'avril.

Le 7 mai 1815, FARADAY reprend son poste à la *Royal Institution* qu'il ne devait plus quitter.

On ne peut douter que ce voyage de 18 mois avec DAVY, et les contacts directs avec les savants les plus remarquables de l'époque n'aient eu sur le développement de l'esprit de FARADAY l'influence la plus décisive.

Les recherches ne tardent pas à commencer : ce sont, en 1818, des expériences sur les flammes sonores étudiées par DE LA RIVE. Les expériences de FARADAY montrent que l'explication qu'en avait donnée le professeur genevois était vraie.

De 1818 à 1820, FARADAY s'instruit comme assistant de BRANDE et publie quelques menus travaux.

En 1820, il publie un mémoire sur 2 nouveaux composés de chlore

et de carbone et un nouveau composé d'iode, carbone et hydrogène. Ce mémoire fut lu à la *Royal Society* le 21 décembre 1821 et fut le premier qui eut l'honneur d'une publication dans les *Philosophical Transactions.*

La découverte d'Œrsted, en 1819, sur l'action directrice d'un courant sur l'aiguille aimantée est, après la découverte de la pile de Volta, le second événement qui fait époque dans l'histoire de l'Electricité.

Pendant les 20 années qui séparent ces deux événements, on s'était occupé surtout de l'action chimique des courants et l'on voyait surtout dans l'électricité un agent de décomposition. Les effets physiques de l'électricité allaient prendre désormais un grand essor.

Les expériences d'Œrsted furent reprises par tout le monde. Wollaston essaya de transformer la déviation d'Œrsted en une rotation continue. Les tentatives étaient faites devant Davy, à la *Royal Institution.* Faraday est tout à fait séduit, reprend de son côté les essais et, un matin de Noël 1821, il appelle sa femme et la rend témoin de la rotation d'une aiguille aimantée autour d'un courant.

En 1821, il étudie la vaporisation du mercure à la température ordinaire et, en collaboration avec M. Stodart, il découvre de nouveaux aciers.

En 1823, Faraday étudie l'hydrate de chlore, en fait l'analyse et, sur la suggestion de Davy, chauffe ce corps en tube scellé. Ce corps se sépare en deux parties, de l'eau et du chlore qui, sous l'influence de sa propre pression, se liquéfie en une sorte d'huile qui donnait un aspect gras au tube d'expérience.

Le Dr Paris qui entrait par hasard à ce moment, railla le jeune chimiste sur le peu de soin qu'il montrait en employant des récipients souillés. Le lendemain matin, il recevait ce mot de Faraday :

« Cher monsieur, l'huile que vous avez vue hier n'était autre que du chlore liquide. »

Il n'est guère possible d'être plus concis.

Davy et surtout Faraday étudient les conditions de la liquéfaction des gaz et Faraday réussit à amener à l'état liquide nombre de gaz réputés jusqu'alors permanents.

En 1823 Faraday est élu membre de la *Royal Society*, malgré une opposition assez singulière de Davy.

En 1825 et 1826, Faraday publie deux nouveaux mémoires sur de nouveaux composés de carbone et d'hydrogène et sur l'acide sulfonaphtalique. Dans le premier de ces mémoires, il annonce la *découverte du benzol* qui devait devenir, entre les mains des chimistes modernes, la base des couleurs d'aniline.

En 1825, il devient membre d'une Commission nommée par la *Royal Society* pour examiner et perfectionner la fabrication des verres d'optique. Les travaux se poursuivent pendant plusieurs années et conduisent à des résultats très remarquables.

C'est en 1825 que FARADAY fut nommé directeur du laboratoire de la *Royal Institution* qui n'était pas riche et qui lui allouait pour ces fonctions un salaire de 200 livres.

Malgré la modicité de ce traitement, il ne voulait pas d'autre fonction rétribuée pour se consacrer entièrement à la *Royal Institution* et lui montrer ainsi sa reconnaissance. Il refuse en 1827 la chaire de Chimie de l'*Université de Londres*. Et c'est en 1853 seulement qu'il devînt superintendant de la *Royal Institution* aux appointements de 300 livres.

De 1823 à 1830, les travaux de FARADAY lui avaient acquis déjà une grande réputation dans sa patrie et à l'étranger.

AMPÈRE lui écrivait : « La chimie et la physique ont toutes deux été « honorées de vos travaux et je vous dois personnellement beaucoup « pour vos expériences sur les rotations électromagnétiques. »

On ne se doutait pas cependant qu'il allait faire des découvertes qui devaient, en quelques années, lui donner, parmi les savants de l'Europe, une réputation plus grande encore que celle de DAVY, il s'agit des phénomènes d'induction électromagnétique et ces recherches méritent une description particulière un peu étendue.

Peu de temps après l'expérience d'ŒRSTED, ARAGO, se basant sur la théorie du magnétisme d'AMPÈRE, avait réussi à aimanter du fer par un courant électrique.

DAVY et FARADAY l'apprirent aussitôt et répétèrent les expériences.

Dès 1825, FARADAY essaie de voir si le courant envoyé dans une bobine est plus ou moins grand quand il y a un aimant dans son axe. L'expérience est négative. Il avait pourtant observé une variation de l'aiguille du galvanomètre quand l'aimant traversait la bobine : c'était déjà de l'induction.

Il multiplie les expériences de ce genre de 1825 à 1828 en faisant passer un courant dans un circuit placé dans le voisinage d'un circuit relié à un galvanomètre et isolé du premier. Il ne remarquait rien, n'observant le galvanomètre que pendant le passage du courant.

Enfin, en 1831, le 29 août, il fait sa découverte sensationnelle. Deux circuits, isolés l'un de l'autre, sont bobinés sur un anneau de fer. L'un des circuits peut être mis en relation avec une pile, l'autre, sans communication avec le premier, est relié à un galvanomètre.

FARADAY note une déviation de l'aiguille quand on établit le cou-

rant dans le premier circuit ou quand on le coupe. Il s'attendait à voir l'aiguille faire quelque chose pendant le passage du courant. Il s'incline devant l'expérience et note l'existence et le sens de cette sorte de vague d'électricité (c'est le courant induit) qui apparaît dans le deuxième circuit quand le courant inducteur s'établit ou se coupe dans le premier.

En septembre et octobre de la même année, il obtient des courants induits sous l'action seule des aimants. Dans l'une des expériences, le 24 septembre 1831, un circuit est bobiné autour d'un cylindre de fer et relié à un galvanomètre. Des courants induits prennent naissance quand on approche ce système d'un pôle d'aimant ou quand on l'éloigne. Dans une autre expérience, le 17 octobre 1831, une bobine creuse est reliée à un galvanomètre. Un courant induit se produit quand on enfonce un aimant dans la bobine. Un courant induit inverse se développe quand on retire l'aimant.

Faraday demande ce *qui s'est passé dans l'espace entre le fer aimanté et le fil de cuivre.*

Les expériences se multiplient, deviennent plus précises et plus nettes.

L'approche ou la naissance d'un courant inducteur fait naître, dans un circuit voisin fermé, un courant induit. La cessation du courant inducteur ou son éloignement fait, de même, naître un courant induit inverse du précédent. Faraday note le sens de ces courants induits par rapport au courant inducteur.

L'approche ou l'éloignement d'un aimant produit les mêmes effets, et le sens des courants induits peut être prédéterminé.

Il essaye alors d'expliquer l'expérience d'Arago de 1824 ; une aiguille aimantée arrive très rapidement au repos quand elle oscille au-dessus d'un disque d'un métal non magnétique. Et si l'on fait tourner le disque, l'aiguille aimantée le suit dans son mouvement comme s'il existait un lien entre eux. Arago, Ampère, Poisson et d'autres avaient étudié la question. Le phénomène gardait son mystère.

Le 28 octobre 1831, Faraday fit tourner un disque de cuivre entre les pôles du grand aimant en fer à cheval de la *Royal Society*. L'axe et le bord du disque communiquent avec un galvanomètre. Faraday note la production d'un courant quand le disque tourne.

Il explique alors par l'existence de courants induits l'expérience d'Arago. Il aurait suffi alors de dire que les courants induits, de quelque origine qu'ils soient, sont toujours de nature à s'opposer à la cause qui les produit et Faraday aurait ajouté à sa gloire celle de for-

muler la loi la plus générale de l'induction qui devait devenir célèbre sous le nom de *loi de Lenz*.

Mais FARADAY poursuit ses expériences. Le 4 novembre 1831, il découvre qu'un fil de cuivre déplacé sous les pôles de l'aimant donne un courant s'il est relié à un galvanomètre. Le sens du courant change avec le sens du mouvement.

FARADAY s'arrête sur cette expérience.

Il recherche le lien entre l'aimant et le fil. Il ne peut admettre les actions à distance qu'accueillaient volontiers les savants français à culture plus mathématique. Il se montrait en cela le continuateur de NEWTON qui, dans une lettre à BENTLEY écrit ce passage que FARADAY aimait à citer :

« Que la gravité soit innée, inhérente et essentielle à la matière, de « telle façon qu'un corps puisse agir sur un autre à distance, à tra- « vers le vide, sans intermédiaire, est pour moi une absurdité telle « qu'aucun philosophe doué de compréhension ne peut l'admettre. »

Pour FARADAY, il y a autour d'un aimant tout un cortège de lignes de force que matérialise l'expérience bien connue du spectre magnétique. Le milieu est en quelque sorte animé par la présence de l'aimant et, pour FARADAY, la cause des phénomènes doit être recherchée dans des actions réelles se passant dans le milieu.

Quand, beaucoup plus tard, JAMES CLERK MAXWELL eut l'inoubliable gloire de traduire en symboles mathématiques les idées de FARADAY, il montra que les deux méthodes, l'action à distance ou l'action du milieu, conduisaient quantitativement aux mêmes lois d'action. Mais les idées de FARADAY qui attribuait aux lignes de force une existence physique, devaient se montrer d'une particulière fécondité en amenant MAXWELL à établir la théorie électro-magnétique de la lumière. Il lui suffit d'ajouter, en 1864, les données qui étaient insuffisantes en 1846, pour calculer la vitesse de propagation.

FARADAY ne tarda pas à remarquer que, pour réussir la production des courants induits dans un fil se déplaçant en regard d'un pôle d'aimant, il fallait que les *lignes de force fussent coupées*.

Cette remarque lui permit immédiatement de se placer dans les conditions nécessaires pour produire des courants induits par le magnétisme terrestre.

Enfin, il fit une autre expérience en faisant tourner un aimant autour de son axe. Des fils de contact reliaient un pôle de l'aimant et sa partie médiane à un galvanomètre.

Pour FARADAY, le courant induit avait son siège dans l'acier qui se comportait comme s'il était indépendant de son propre magnétisme.

Nous savons aujourd'hui que le phénomène peut aussi bien s'expliquer en admettant que l'aimant tourne en emportant son cortège de lignes de force. Ces lignes sont alors coupées par le circuit de liaison au galvanomètre.

Les règles quantitatives de l'induction électromagnétique ne purent êtres formulées que 20 ans plus tard ; c'est en 1851 que Faraday put dire que le courant induit est proportionnel à la vitesse avec laquelle le conducteur se déplace dans le champ d'un mouvement uniforme et que la quantité d'électricité induite est proportionnelle au nombre de lignes de force coupées (nous disons aujourd'hui proportionnelle à la variation du flux magnétique à travers le circuit induit).

Trois années après la publication de ces découvertes, c'est-à-dire le 20 janvier 1835, Faraday lit devant la *Royal Society* un mémoire sur « l'Influence par induction d'un courant électrique sur lui-même ». Un choc et une étincelle d'un caractère particulier avaient été observés par un jeune homme du nom de William Jenkin qui annonçait une carrière pleine de promesses dans la voie scientifique, mais qui en fut détourné par son propre père. Le fait, porté à la connaissance de Faraday, le conduisit à la découverte de l'*extra courant*, c'est-à-dire du phénomène d'induction qui se produit dans une bobine unique au moment de la fermeture ou de la coupure du circuit.

Tout était désormais découvert dans les phénomènes essentiels de l'induction. Il suffisait d'y ajouter des notions quantitatives plus nettes sur les qualités magnétiques des matériaux. Il n'y a pas d'exemple d'une suite d'expériences conduites avec une telle sagacité, une telle variété, une telle minutie, une telle précision dans les détails.

Faraday tourna son activité d'un autre côté.

Sa découverte de l'induction avait laissé dans son esprit un léger doute sur l'identité des électricités et il entreprend, dès le mois d'août 1832, des expériences sur ce sujet de l'identité des courants induits, des courants voltaïques et des courants donnés par les machines à frottement, cette identité étant démontrée par les actions chimiques et par l'action sur l'aiguille aimantée (mémoires lus à la *Royal Society* les 10 et 17 janvier 1831.

En 1833 et 1834, il établit les lois de la décomposition électrochimique, travail considérable qui suffirait à lui seul à établir la gloire d'un savant. Il montre que la conduction des corps composés liquides et la décomposition sont deux faits connexes. Il établit les lois quantitatives des phénomènes. C'est dans ces mémoires qu'apparaissent pour la première fois les mots *électrolyse*, *électrolyte*, *électrodes*, au-

jourd'hui classiques. Il émet l'hypothèse de la dissociation des molécules en deux *ions* transportant en sens contraire des charges électriques égales et opposées. C'est encore la conception actuelle. Toute l'industrie électrochimique moderne, si importante, est tributaire de ces travaux de FARADAY.

Entre temps, il étudie certaines actions catalytiques, du platine spongieux notamment.

Les recherches de FARADAY sur l'électrochimie l'amènent à établir la théorie électrochimique de la pile de VOLTA, tellement opposée à la théorie dite du *contact*, acceptée alors par tout le monde, que FARADAY ne put la faire admettre qu'en 1840. Il affirme que puisque le courant électrique peut produire à l'extérieur une décomposition, il faut que des actions chimiques dont le siège est à l'intérieur de la pile lui donnent naissance et en soient l'équivalent. On peut dire que FARADAY avait prévu le principe de la conservation de l'énergie.

« La théorie du contact, dit-il, nous conduirait à une *création de* « *puissance* dont on n'a pas d'exemple dans la nature. Nous ne pro- « duisons que des changements dans la forme et l'aspect de cette puis- « sance. »

C'est à cette époque que FARADAY entreprit une série d'expériences sur les corps non conducteurs et qui aboutissent à une théorie complète des isolants et à la notion du *pouvoir inducteur spécifique*. C'est au cours de ces recherches que FARADAY reprend la bataille contre l'action à distance qui ne peut s'exercer qu'en ligne droite. Si l'on peut établir, ce qu'il fit, que les actions électriques peuvent se manifester suivant des *lignes courbes*, ce ne peut être que de proche en proche, par l'action de particulescontiguës du milieu.

Ces formidables travaux de FARADAY avaient gravement compromis sa santé et il dut, après quelques avertissements, s'imposer, en 1840, un repos prolongé de quatre années. Il alla les passer en Suisse qui commençait à devenir à la mode pour ses compatriotes, en compagnie de sa femme et de M. et Mme GEORGES BARNARD, son beau-frère et sa belle-sœur.

En 1840, la mémoire seule de FARADAY était atteinte. Dix années plus tard, une sorte de paralysie gagnait les muscles des bras, des jambes et de la gorge. Mais jamais ces attaques n'affaiblirent la vigueur et la profondeur de son esprit. Ce n'est qu'à partir de 1863 qu'il dut renoncer à tout travail.

Il semble que ce repos de quatre années ait été favorable à une sorte de repliement de son esprit vers les deux idées dominantes qui l'ont guidé dans tous les travaux, à savoir l'impossibilité de l'action à dis-

tance et l'unité des forces naturelles. Et, dans cette deuxième partie de sa vie, il oriente ses recherches sur les *relations entre le magnétisme et la lumière.*

Des expériences antérieures lui avaient montré qu'un champ électrostatique était sans influence sur un rayon de lumière polarisée.

Il fut plus heureux avec le champ magnétique et, après des centaines et des centaines d'expériences, il établit que lorsqu'un rayon de lumière polarisée se propage dans la direction des lignes de forces magnétiques à travers un verre lourd (silicoborate de plomb), le plan de polarisation tourne d'un certain angle. Cette rotation est nulle quand le champ magnétique est perpendiculaire à la direction du rayon lumineux. Son sens et sa valeur sont liés au sens et à la valeur du champ magnétique.

Le mémoire dans lequel FARADAY annonça cette découverte sous le titre de « magnétisation de la lumière et illumination des lignes de forces magnétiques » provoqua une grosse émotion.

C'est au cours de ces longues recherches que FARADAY fit une découverte qui l'impressionna au point qu'il n'alla pas à la séance de la *Royal Society* où était lu son mémoire sur la magnétisation de la lumière. Il constata qu'une barre de verre lourd se mettait en croix avec la direction du champ magnétique produit par un puissant électro-aimant. C'est le phénomène du diamagnétisme, propriété générale qui appartient à toutes les substances sans exception qui ne sont pas magnétiques à la manière du fer.

Il étudie l'action du champ magnétique sur les cristaux. Il avait été amené à ces nouvelles recherches par la manière de se comporter de certains corps comme le bismuth qui agit tantôt comme une substance magnétique, tantôt comme une substance diamagnétique. FARADAY croit voir là une force nouvelle, qu'il appelle la force magnéto-cristalline. TYNDALL devait montrer plus tard l'inutilité de cette hypothèse et élucider la question.

C'est au cours des recherches sur les relations entre le magnétisme et la lumière que FARADAY fit la connaissance de MAXWELL qui devait, dans un génial effort, apporter à toute son œuvre son magnifique couronnement.

L'œuvre de FARADAY était admirée dans le monde entier. Il fut élu l'un des huit membres étrangers de l'Académie des Sciences et, en 1856, NAPOLÉON III, le fit commandeur de la Légion d'Honneur. Dans sa lettre de remerciements, FARADAY dit qu'il n'est qu'un des maillons de la chaîne qui, espère-t-il, unira toujours la France et l'Angleterre.

Dans son propre pays, on eut toutes les peines du monde à lui faire accepter une pension que lui avait octroyée GUILLAUME IV en 1835. Et plus tard, ce grand homme désintéressé hésita longtemps à accepter l'asile de repos que lui offrit la Reine VICTORIA à Hampton Court.

C'est à Hampton Court qu'il mourut dans l'après-midi du 25 août 1867. La mort paisible l'atteignit dans son fauteuil, dans son cabinet de travail. Il s'était affaibli seulement dans les quinze derniers jours.

Ce fut une grande âme simple. Son génie éclatant ne fut dépassé que par sa valeur morale et son désintéressement.

Traduction des Articles du *Times*

parus le 21 Septembre 1931



Statue de FARADAY à l'exposition de l'Albert Hall.

Photographie reproduite avec l'autorisation de la " Royal Institution ".

FARADAY

Article de tête

Aujourd'hui, les savants et les ingénieurs électriciens sont rassemblés à Londres pour célébrer le centenaire d'un fait qui, évalué à notre échelle moderne, ne paraîtrait qu'une expérience des plus simples. Il y a un peu plus de cent ans, MICHEL FARADAY travaillant dans son laboratoire de la *Royal Institution*, Albermarle Street, prit un anneau de fer et enroula sur chacune de ses moitiés deux bobines de fils séparées. Il réunit les deux extrémités de l'un des fils à un galvanomètre, celles de l'autre à une batterie de piles et il constata que, quand il établissait ou qu'il coupait le circuit de la bobine reliée à la batterie, le galvanomètre indiquait le passage, dans l'autre bobine, d'un courant instantané.

C'est ainsi que, le 29 août 1831, il démontra que l'électricité était produite par le magnétisme. Cette découverte n'était pas due au hasard. Pendant des années, il avait cherché à produire ce phénomène, mais il avait toujours dû consigner, comme conclusion de ses expériences, ces mots désolants : « aucun résultat ». A cette époque, on portait un intérêt passionné aux relations entre l'électricité et le magnétisme. Dix ou onze ans plus tôt, en Danemark, ŒRSTED avait découvert qu'une aiguille magnétique est influencée par un courant électrique passant dans un fil voisin. Bientôt après, en France, AMPÈRE annonça l'existence d'une action dynamique entre des conducteurs parcourus par des courants électriques et ARAGO découvrit qu'un courant électrique a le pouvoir d'aimanter le fer et l'acier ; en Angleterre, DAVY constatait, indépendamment, le même phénomène.

FARADAY lui-même imagina, en 1821, un ingénieux dispositif grâce auquel un fil, que parcourait un courant voltaïque, entrait en rotation autour d'un aimant permanent ; il réalisa ainsi, en fait, le premier moteur électrique.

Il était donc devenu bien évident que les courants électriques pouvaient produire des effets magnétiques et il semblait à FARADAY, comme du reste à d'autres chercheurs, qu'il devait exister une action réciproque ; que, selon sa propre expression, il devait être possible de

transformer le magnétisme en électricité. La preuve de l'existence d'une telle action lui échappa cependant jusqu'à ce qu'il eût réussi son expérience de l'anneau de fer et c'est alors qu'il commença à comprendre pourquoi ses efforts antérieurs avaient échoué.

Le 30 août, il se posa à lui-même la question de savoir si les effets instantanés qu'il avait observés ne pouvaient pas être attribués à une différence entre les propriétés des métaux, suivant qu'ils sont au repos ou en mouvement. Sept semaines plus tard, il obtenait une réponse concluante, en découvrant qu'il se produisait un courant électrique lorsqu'une barre aimantée se déplaçait dans un sens ou dans l'autre à l'intérieur d'une hélice de fil ; quelques jours plus tard, il réalisait une véritable machine magnéto-électrique en faisant tourner un disque de cuivre entre les pôles du grand électro-aimant en fer à cheval de la *Royal Society*.

Ainsi, en dix jours de brillante expérimentation, répartis sur une période de moins de dix semaines, il avait élucidé les principes essentiels de l'induction électro-magnétique et posé les fondements de cette grande industrie de la construction électrique que nous connaissons aujourd'hui. Sa petite machine électrique était l'avant coureur de la dynamo qui transforme le mouvement mécanique en énergie électrique et son anneau de fer, avec ses deux bobines de fil, était le prototype du transformateur fermé grâce auquel on peut, à volonté, élever ou abaisser la tension, en sorte qu'avec ces deux appareils, il réalisait deux des principaux éléments d'une installation moderne de fourniture d'énergie. Un troisième élément, le moteur électrique, qui transforme à nouveau l'énergie électrique en mouvement mécanique, avait été inventé par lui dix années auparavant.

Si Faraday et nul autre après lui, n'avait découvert l'induction électromagnétique, le monde d'aujourd'hui aurait pu connaître quelques applications banales de l'électricité, telles que les sonneries électriques et les lampes de poche, pour lesquelles suffit le faible courant des piles, mais nous n'aurions connu aucune des applications des courants forts produits par les machines électromagnétiques, ni la diffusion de l'éclairage électrique, ni la traction électrique, ni la commande électrique des ateliers, ni les fours électriques, ni la grande industrie électrochimique.

Evaluée au point de vue purement utilitaire, l'œuvre que nous commémorons cette semaine peut donc être reconnue comme son œuvre maîtresse, mais on peut douter qu'il se fût contenté de la voir apprécier au seul critère des applications pratiques, qu'il était pourtant très

loin de dédaigner ; la satisfaction qu'il aurait éprouvée à connaître les résultats matériels tirés de ses expériences centenaires peut se déduire de l'exclamation qu'il poussa, dit-on, quand on lui montra une lampe électrique : « Je vous ai donné un bébé : vous me rendez un géant ».

Mais le but constant de sa vie fut la poursuite de la vérité scientifique pour elle-même, le désir d'arracher à la nature ses secrets et de *rerum cognoscere causas*.

Il fut vraiment un prince parmi les expérimentateurs ; manipulateur expert, capable de réaliser des merveilles avec un outillage simple, sinon grossier, c'était à très juste titre qu'il aimait à se dire expérimentateur scientifique ; comme Lord Rutherford le remarque dans un des articles que nous publions ici, il ne cherchait pas seulement à accumuler des faits nouveaux, mais aussi à se rendre compte des lois physiques dissimulées derrière les phénomènes qu'il observait.

L'ampleur de son champ d'investigation était surprenante, s'étendant à toute la gamme des sciences physiques et il n'en est guère à laquelle il n'ait apporté une contribution importante. Quelques-unes de ces sciences ont été établies par lui sur des fondements si solides que les chercheurs nouveaux n'ont eu qu'à en développer la superstructure ; sur d'autres on trouve, dans ses notes, des indications ou des suggestions de découvertes ou d'idées qui, longtemps seulement après sa mort, prirent une place prédominante dans les théories scientifiques ; telles, par exemple, ses recherches, qui furent si près d'aboutir, sur la nature atomique de l'électricité.

Son œuvre fut entièrement dominée par la conviction de l'unité essentielle de toutes les forces naturelles, par la persuasion que les formes variées sous lesquelles elles se manifestent sont, entre elles, en dépendance si directe et en liaison si étroite qu'elles peuvent être transformées les unes dans les autres.

C'est en cherchant à démontrer la possibilité de convertir le magnétisme en électricité qu'il fut conduit à sa grande découverte de l'induction électromagnétique et sa dernière expérience, qui échoua seulement parce que les appareils dont il disposait n'étaient pas assez délicats, avait pour but de trouver une nouvelle relation complétant celle, qu'il avait découverte, 17 ans auparavant, entre le magnétisme et la lumière.

De nos jours, où les mathématiques tiennent une si grande place dans les recherches physiques, il peut sembler étrange qu'un chercheur aussi doué que Faraday n'ait jamais employé un symbole ma-

thématique et, de fait, il avait coutume de déplorer « l'insuffisance de ses connaissances mathématiques ».

Il avait cependant l'esprit mathématique à un degré très élevé et ce fut en transposant ses conceptions sous une forme mathématique que son grand interprète, Clerk Maxwell, donna au monde ses équations que Sir J. J. Thomson déclare être les plus importantes de la physique.

Mais, si l'on cherche à découvrir d'où pouvait lui venir cette intelligence et ce sens si merveilleux des phénomènes physiques, on ne peut trouver aucune réponse satisfaisante : tout ce que l'on peut dire, c'est que l'on naît avec le génie, mais qu'on ne l'acquiert pas.

L'hérédité ne nous fournit aucune explication, car aussi loin qu'on puisse remonter, ses ancêtres étaient des gens très ordinaires qui ne manifestèrent aucune prééminence intellectuelle susceptible d'être transmise à leurs descendants.

Aucune autre explication ne peut être trouvée dans son éducation ou dans son instruction. Il a dit un jour de lui-même qu'il n'était « pas instruit au sens usuel du mot » et c'est exact en ce sens qu'il devait peu à l'instruction scolaire courante.

Il quitta l'école à l'âge de 13 ans et, comme il arrive souvent aux hommes de génie, il s'instruisit lui-même en lisant tout ce qui lui passait par les mains pendant son apprentissage de relieur et en assistant aux conférences scientifiques toutes les fois qu'il le pouvait.

Il n'avait pas fait d'humanités, qui étaient alors considérées comme indispensables à une éducation libérale ; (on peut rappeler que quand la *British Association* se réunit à Oxford en 1832, on entendit formuler dans certains milieux la plainte que l'Université s'était déshonorée en admettant un « salmigondis de savants » et en conférant des titres honoraires à quatre d'entre eux, dont il était ; c'est peut-être en partie pour cela qu'il avait, sur les avantages de l'enseignement scientifique dans les écoles, des opinions fort en avance sur son époque).

Sa propre situation comme professeur est assez difficile à définir. Il se montrait infatigable quand il s'agissait de faire des conférences à la *Royal Institution*, où il inaugura les fameux entretiens du vendredi soir et les conférences de Noël, mises à la portée d'un jeune auditoire. Celles-ci ont maintenant derrière elles plus d'un siècle d'histoire. Tous ceux qui l'entendirent et tous les conférenciers, ses contemporains, s'accordent à reconnaître qu'il y était hors de pair.

D'autre part, c'était un chercheur essentiellement individualiste, qui était incapable de faire « travailler pour son compte des étudiants ou des élèves » ; il ne fut jamais chef d'une équipe de disciples en-

thousiastes, inspirés de son esprit magistral et répandant ses méthodes et ses doctrines.

Pour un tel homme, la *Royal Institution* constituait un milieu particulièrement propre à développer son génie. Elle a toujours été un établissement où les chercheurs originaux peuvent poursuivre leurs recherches au gré de leur inspiration, sans être entravés par la routine d'un cours régulier, ou dérangés par les besognes administratives ; si la *Royal Institution* n'avait rien fait d'autre que de fournir des possibilités à un Faraday (et ses annales contiennent un grand nombre d'autres noms distingués) elle aurait bien mérité et de notre pays et du monde.

MICHEL FARADAY (1791-1867)

UN MODESTE CHERCHEUR DE VÉRITÉ

Le secret de sa grandeur

par Rollo APPLEYARD

MICHEL FARADAY naquit à Londres, le 22 septembre 1791. Il fit sa plus célèbre découverte le 29 août 1831. Il mourut le 25 août 1867.

Si on excepte ISAAC NEWTON, dont les Principia constitueront toujours le plus haut sommet atteint par le génie humain dans le domaine des observations et des mesures, FARADAY est universellement reconnu, du fait de ses recherches, de son enseignement, de l'ardeur et de la noblesse de son caractère, comme hors de pair dans le royaume des sciences naturelles.

Cette année, tout en célébrant ses expériences et en restant saisis d'admiration devant la richesse des développements qui en ont été tirés, il convient de nous rappeler qu'il fut, au sens le plus élevé du terme, un savant, un homme modeste, de foi simple qui, de toutes ses forces, chercha à connaître la vérité et à faire le bien.

Son premier milieu fut la pauvreté ; son instruction première fut extrêmement restreinte. Aucun collège, aucune université ne s'ouvrit devant lui ; il entra dans le monde par le bord le plus âpre.

Du côté paternel, comme du côté maternel, MICHEL était d'une souche de paysans et d'artisans anglais. Son nom apparaît sur le registre de l'église paroissiale de Saint-James, au village de Clapham, dans le Yorkshire, dès 1740, et les FARADAY s'y trouvent associés à la famille des DEAN, du manoir du bois de Clapham. Ce manoir est à près de 5 km de l'église. On y arrive en suivant la route qui mène de la gare de Clapham à Slaidburn, jusqu'à un poteau indicateur, puis, en tournant à droite, vers Bentham.

Le manoir n'existe plus, mais il reste un modeste bâtiment de ferme, encore désigné sous le nom de manoir du bois de Clapham; le petit domaine contient deux bâtiments séparés, l'un, « la Grange d'habitation », l'autre, devenu une salle de culte, la « Filature de coton » ou

« la Filature à bobines » tous deux rattachés jadis, par l'acte civil, à la famille des FARADAY.

Il nous suffit, pour ce qui nous occupe maintenant, de relever que le grand-père de MICHEL, ROBERT FARADAY, né en 1728, épousa en 1756 ELISABETH DEAN du manoir du Bois de Clapham et en eut sept fils : RICHARD, JEAN, JACQUES, ROBERT jeune, THOMAS, BARNABÉ et GUILLAUME. Il eut aussi trois filles : ELISABETH, JEANNE et ANNE.

Parmi les fils, RICHARD est qualifié tour à tour de fermier, d'aubergiste, de couvreur et d'épicier.

JEAN, de fermier se fit tisserand; JACQUES resta toujours forgeron.

ROBERT fils fut successivement tailleur et emballeur dans une filature de lin.

THOMAS et BARNABÉ restèrent cordonniers. GUILLAUME mourut jeune. En 1800, les filles étaient toutes célibataires.

Le père de MICHEL, un des fils du vieux ROBERT, JACQUES le forgeron, épousa, en 1786, MARGARET HASWELL, fille d'un fermier de Mallestang, près de Kirkby Stephen, dans le Westmorland.

Il est des gens à Clapham, dans le Yorkshire, qui aimeraient à réclamer MICHEL pour citoyen de leur joli village; mais il est trop bien établi que JACQUES et MARGUERITE vinrent dans le Sud et fondèrent un foyer près de l'aboutissement du chemin de Walworth à la butte de Newington, à Londres, non loin de la vieille église, aujourd'hui démolie, de Sainte-Marie-Newington. L'emplacement de la forge était proche de la rue de la Croix, devenue aujourd'hui la rue du Drapier; mais la maison où est né FARADAY n'a pas encore été identifiée.

Pour un observateur occasionnel d'aujourd'hui, le choix de cet emplacement, à la jonction de deux grandes routes pénétrant dans Londres en venant du Sud, était tout ce que pouvait désirer un forgeron; toutefois, il régnait une grande misère dans la localité; aussi est-il certain que les espoirs conçus par la famille FARADAY dans leur maison du Yorkshire avaient été quelque peu déçus ; les résultats de leur industrie avaient été désappointants.

En 1796, JACQUES et MARGUERITE avaient une petite famille de trois enfants ; ELISABETH, née en 1787, ROBERT en 1788 et MICHEL en 1791.

Avec ce précieux fardeau, ils se retirèrent sur l'autre rive de la Tamise, dans un coin obscur de Jacob's Well-mews, près de Manchester Square.

Le père était malade et l'on peut s'imaginer leurs conditions d'existence. En 1802, naquit le 4e enfant, MARGUERITE.

Autant qu'on peut s'en rendre compte, FARADAY s'initia, dans un externat local, aux éléments de lecture, d'écriture et d'arithmétique.

A 13 ans, il obtint une place de porteur de journaux chez le libraire Riebau, au n° 2 de la rue Blandford, à Marylebone.

Pour nous renseigner sur les détails de la vie de Michel au cours de cette première période de sa carrière, nous ne pouvons recourir à une meilleure autorité qu'à celle de Bence Jones qui, en 1870, publia « la vie et la correspondance de Faraday ». La période de 1850 à 1867 a été contée par Tyndall qui a fait revivre devant nous Faraday comme auteur de découvertes. A certains égards, on prend de lui une connaissance plus intime dans le « Michel Faraday » du docteur J. H. Gladstone. Les biographies de quelques savants de ses amis nous donnent sur lui des détails personnels.

L'historique le plus précieux de ses travaux scientifiques est son œuvre immortelle : « Experimental Researches » à laquelle il faut ajouter ses journaux, ses livres de notes, ses livres généraux, sa correspondance, recueillis, pour la plupart, par la bibliothèque de la *Royal Institution* et par celle *de l'Institution of Electrical Engineers.*

On peut saisir aussi quelques aspects de son histoire en feuilletant les journaux, comme le *Times*, le *Punch*, l'*Illustrated London News* et le *Saint Paul's Magazine*, d'il y a 60 à 100 ans.

La famille du grand-père de Michel appartenait à la secte religieuse des Sandémaniens, à laquelle Michel resta fidèle jusqu'à la fin.

Les Sandémaniens adhéraient scrupuleusement aux doctrines des Glasites; un de leurs dogmes était que la Bible n'avait pas été écrite pour enseigner les sciences à l'humanité. Ils faisaient preuve d'une grande force de caractère et ils considéraient comme le devoir commun de leur secte, de soutenir tous ses membres. On trouve, dans le Dictionnaire de biographie nationale, un document instructif sur leur compte. Les parents de Michel inculquèrent à leur fils des principes élevés et virils.

Après que Faraday eut accompli une année d'essai comme porteur de journaux, son maître découvrit ses qualités et, le 7 octobre 1805, il l'engagea comme apprenti, sans prime et pour 7 ans, dans son commerce de relieur-libraire. A la fin de son apprentissage, il entra chez un nouveau maître, comme relieur à la journée, mais le jeune homme commençait à se troubler sous le charme des sciences naturelles qui s'était emparé de lui.

La lecture des livres qu'il avait à relier et à vendre l'attira vers l'étude de la chimie et de l'électricité et il commença à faire des expériences.

En 1810 et 1811, son frère Robert l'aida à payer 1 shilling par se-

maine pour suivre des conférences faites sur ces matières au n° 53 de Dorset-Court, Fleet-Street.

Un des amis de MICHEL lui donna aussi quelques leçons de dessin et de perspective. En outre, en février, mars et avril 1812, un des clients de la librairie l'emmena aux conférences de Sir HUMPHRY DAVY à la *Royal Institution*, dans Albermarle Street. La suite de l'histoire est bien connue : il sollicita une audience de Sir HUMPHRY et lui présenta, proprement écrites et reliées, les notes prises à ses quatre conférences. Le résultat fut que, le 8 mars 1813, il fut nommé préparateur au Laboratoire de la *Royal Institution*. Il recevait 30 francs par semaine et avait à sa disposition deux pièces sous les toits. Il entreprit dès lors des études personnelles. Il s'appliqua à la littérature, à la musique, à la diction, en somme à tout ce qui pouvait faire de lui un homme distingué. Il s'était imposé un programme rigoureux de formation autodidacte ; mais les circonstances vinrent modifier ses projets.

En 1813, Sir HUMPHRY DAVY lui demanda de l'accompagner dans un voyage à travers l'Europe. Lady DAVY et sa femme de chambre devaient compléter le groupe et tous devaient voyager sous la protection d'un sauf conduit dû à la magnanimité, ou à la sagacité, de NAPOLÉON.

Ce devait être un voyage d'enquête scientifique en France, en Italie, en Sicile et en Allemagne. Ils emporteraient avec eux les appareils nécessaires à leurs recherches.

Ils devaient visiter l'Auvergne pour étudier ses volcans éteints et Montpellier pour y faire certaines recherches sur l'iode.

Ces quatre personnes étrangement assorties, DAVY, Lady DAVY, FARADAY et la femme de chambre, s'embarquèrent à Plymouth pour Morlaix, le 17 octobre 1813, sur un voilier « parlementaire » qui jaugeait probablement de 40 à 50 tonnes.

A leur arrivée en France, ils chargèrent leurs effets et leurs appareils dans leur calèche de voyage et se dirigèrent sur Paris.

Les Français les accueillirent généreusement et délivrèrent à FARADAY un passeport où il se voyait décrit comme possesseur « d'un menton rond, d'une barbe brune, d'une grande bouche et d'un grand nez. »

Si l'on considère quel était l'état de l'Europe à cette époque, ce voyage constituait un courageux exploit. Les conséquences en furent importantes, non seulement en raison des recherches poursuivies par DAVY, mais parce que ce voyage mit DAVY et FARADAY à même de constater directement les progrès effectués sur le continent.

Un an plus tard, DAVY racontait avoir, au cours de ce voyage, passé des Pyrénées aux Alpes, traversé deux fois ces dernières, visité des volcans éteints, rencontré AMPÈRE et GAY-LUSSAC, BERTHOLLET, CUVIER, HUMBOLDT, CHEVREUL, d'autres savants encore, passé à Rome, à Florence, à Naples, à Milan, conversé avec VOLTA et DE LA RIVE.

MICHEL souffrit d'abord de la situation servile dans laquelle il se trouvait accidentellement placé. Un autre élément de trouble fut, à son retour à Londres, le risque qu'il courut d'être désigné pour entreprendre, à Naples, des recherches sur le déploiement des papyrus d'Herculanum.

Cette période d'incertitude eut toutefois une fin ; en 1815, il devint adjoint au Laboratoire et aux collections de minéralogie en même temps que préposé aux appareils.

Tout ce qu'il apprit de DAVY et d'autres professeurs lui fit faire des progrès si rapides que, vers 1819, il prenait des élèves et se consacrait entièrement aux travaux de laboratoire et aux réunions scientifiques.

Sa formation d'autodidacte comprenait « la composition, le style, la diction, la lecture, l'éloquence, la grammaire, la prononciation, l'art de l'exposition. »

En même temps, il ne négligeait jamais ses pratiques religieuses et il conservait l'habitude, quelque pressantes que fussent ses obligations d'Albermarle Street, de se rendre le samedi chez sa mère et ses sœurs.

Heureusement, il ne sacrifia jamais non plus la tâche qu'il s'était imposée de noter sur ses agendas, livres de notes et autres, les résultats auxquels il parvenait et ses observations importantes. Il étudiait avec soin ce que les autres publiaient sur les progrès accomplis en physique et en chimie et, dans ce domaine comme dans tous ceux auxquels il appliqua son intelligence, il offre un modèle de premier ordre. Il avait, toutefois, le cœur joyeux : il aimait à chanter, à rire et à jouer, quand il le pouvait. On put le voir quelquefois rouler indéfiniment dans l'amphithéâtre de la *Royal Institution* sur un vélocipède qui était alors « une nouveauté ».

En 1820, ses idées sur la vie subirent une modification : il y avait dans l'église sandemanienne un ancien, M. BARNARD, orfèvre dans Paternoster-row, dont la troisième fille, SARAH, par raisonnement ou autrement, guérit MICHEL d'une erreur sur la nature des affections humaines. Dès qu'elle apprit cela, Mme BARNARD emmena SARAH à Margate ; MICHEL les suivit et bien que son cerveau fût, comme il le dit, « encombré de stupidités telles que les chlorures, les essais, les huiles, DAVY, l'acier et cinquante autres songes creux », il se convainquit que SARAH avait raison et ils s'épousèrent le 12 juin 1821.

Davy lui rendit le service de le faire loger avec sa femme à la *Royal Institution* où Michel venait d'être nommé Inspecteur des bâtiments et du Laboratoire.

Depuis cette époque jusqu'à la fin de leur vie, leur roman fut la simple histoire de deux époux fidèles. Leurs moments les plus heureux étaient ceux qu'ils passaient à dessiner ensemble dans les chemins de campagne, ou à s'aventurer discrètement au parterre d'un théâtre. Parfois, ils allaient à l'Opéra, ou se joignaient à un joyeux pique-nique au bord de l'eau. Leur cercle finit par s'étendre bien au delà de ses confrères en science : il engloba des musiciens et des artistes parmi les plus célèbres tels que Garcia, la Malibran, Stanfield, Turner, Westall et Landseer. Chez Faraday, il n'y avait rien de pédant ni d'ennuyeux. S'il y avait un nuage dans sa vie, c'était de n'avoir pas d'enfants pour partager avec lui la lumière du soleil et contempler les arcs en ciel.

Son succès fut le résultat d'un intense effort soutenu pendant de longues années. Il fut prompt à évaluer l'étendue du territoire inexploré que Henry Cavendish, Thomas Young, et d'autres avaient délimité, et au travers duquel Volta, Ampère, Gauss et Oersted avaient frayé des voies. De plus, il était chimiste autant que physicien et ce qui lui manquait en science mathématique était compensé par le libre jeu de sa puissante imagination, freinée et guidée par son esprit logique et par son profond respect de la vérité et de la justice. De même que son père battait l'enclume de son marteau, il forgeait les faits des sciences naturelles et les forçait à se coordonner. L'effort qu'il s'imposait était considérable, il l'était même trop car, vers 1835, alors que, comme savant et comme conférencier, il jouissait d'une renommée mondiale et de l'estime universelle, sa santé commença à décliner. En 1841, il chercha à retrouver des forces en voyageant en Suisse mais, à son retour en Angleterre, il se sentait déprimé et sa mémoire baissa un peu. Il lutta virilement contre ces symptômes redoutables, et il s'appliqua, avec toute l'ardeur dont il était capable, à de nouvelles recherches ; mais il finit par se paralyser et, le 25 août 1867, il s'enfonça, comme nous le dit Tyndall, dans le suprême repos.

Un des traits caractéristiques de Faraday est le soin extrême qu'il apporta à préciser ses expériences du 29 août 1831 et cela afin de rendre pleine justice aux autres savants. Ce n'est pas lui qui découvrit l'induction électromagnétique. Suivant ses propres termes (p. 2,

vol. I des Experimental Researches), il était guidé par « l'espoir de tirer l'électricité du magnétisme ordinaire ».

Il savait :

1° qu'en 1819 ou au début de 1820, Oersted avait démontré qu'un courant électrique dévie une aiguille aimantée.

2° que le 18 septembre 1820, Ampère, prenant la suite d'Oersted, avait démontré que deux courants électriques, passant dans des con-

3° que le 20 septembre 1820, Arago avait aimanté des aiguilles d'acier à l'intérieur d'une hélice de fil parcouru par un courant.
ducteurs voisins, exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques.

4° que le 21 mai 1821, Sir Humphry Davy avait démontré, et peut-être n'était-ce pas pour la première fois, qu'un arc électrique peut être dévié par un aimant.

5° que le 22 novembre 1824, Arago avait observé l'amortissement des oscillations d'une aiguille aimantée, placée à peu de distance au-dessus d'une surface métallique, telle qu'une feuille de cuivre.

Le premier volume des « Experimental researches in electricity » de Faraday, contient la revue de ces travaux des autres, établie par lui en 1831, avec cette remarque « qu'il paraissait peu probable que ce fussent là les seuls effets d'induction pouvant être produits par les courants ».

Là encore, il note ce résultat, trouvé par lui-même, (p. 14), que « l'emploi du fer augmente sensiblement l'induction électromagnétique » et il peut ajouter (p. 15) : « les diverses expériences relatées ici prouvent, je pense, d'une manière très complète, que l'électricité peut être produite par le magnétisme ordinaire ».

Cent ans se sont écoulés depuis qu'a été publié ce merveilleux résultat.

Sommes-nous certains de la voie qu'il a suivie pour réaliser l'expérience qui, pour la première fois, révéla ce phénomène ?

Tyndall, à la page 21 de « Faraday as a discoverer » nous dit « qu'il commença ses expériences sur l'induction des courants électriques en constituant une hélice de deux fils isolés, enroulés côte à côte autour d'un même cylindre de bois. »

Faraday lui-même, à la page 2 du volume I de ses « Experimental Researches », commence la description de son appareil en expliquant comment il employa une hélice de fil de cuivre enroulé sur un cylindre de bois. Ceci justifie probablement la version de Tyndall, mais Faraday a-t-il vraiment réussi d'abord son expérience avec un noyau de bois ? ou était-ce un noyau de fer ?

Le Journal manuscrit de FARADAY, qui constitue l'autorité suprême, enregistre, à la date du 29 août 1831, la première expérience réussie ; il dépeint et décrit clairement l'anneau de fer qui constituait le noyau de l'hélice de fil.

FARADAY avait décidé de consacrer à cette expérience toute sa science et toutes ses ressources.

Savant, il connaissait la propriété magnétique du fer ; fils de forgeron, il savait fabriquer un anneau de fer.

Son génie lui inspira l'idée que l'emploi de ce dispositif augmenterait ses chances de succès. Pourquoi donc ne l'a-t-il pas noté, dans son compte rendu imprimé, comme la caractéristique de sa première expérience ? L'explication doit être cherchée dans le court paragraphe de la page 2 du volume I où il dit : « Ces résultats, je me propose de les exposer, non comme je les ai obtenus, mais de manière à donner, de l'ensemble, la vue la plus concise. »

L'activité de FARADAY dans son laboratoire, son habileté d'expérimentateur, son éloquence de conférencier, la bonne confraternité qu'il réussit à établir parmi les hommes de science, le renom de ses découvertes, tout cela est bien connu.

Il convient d'y ajouter son influence dans la réforme du système d'éducation, ses plaidoyers pour l'introduction, dans les écoles publiques, de l'enseignement des sciences naturelles, son insistance à faire consacrer la situation des pionniers du progrès scientifique et, par-dessus tout, son dévouement à la patrie.

Il était conseiller scientifique de *Trinity House* et il travailla constamment à améliorer l'éclairage des phares. Il refusa une chaire de chimie à l'*Université de Londres*, mais il entra dans son conseil.

Il accepta, toutefois, de faire des conférences de Chimie à l'*Académie Royale Militaire* de Woolwich. La définition personnelle qu'il tenait à donner de son attitude, était la suivante : « être toujours prêt à assister le gouvernement, mais sans rétribution ».

Il avait coutume de dire : « J'ai l'honneur et le plaisir de répondre aux demandes de l'Amirauté, de l'Artillerie, de l'Intérieur, des Eaux et Forêts et d'autres départements ministériels. » Les appels que lui adressaient, de Grande-Bretagne et de l'étranger, les correspondants qui avaient besoin de ses conseils, étaient innombrables. Avec tout ce qui lui restait de forces, il cherchait à leur donner une réponse utile.

Quiconque désire étudier la vie de FARADAY sera reconnaissant à son ami irlandais TYNDALL de l'inspiration qu'il a eue de léguer si éloquemment son secret à la postérité : « La beauté et la noblesse d'âme,

écrit-il, s'unissaient en lui pour exclure toute vulgarité et toute bassesse. Ce n'est pas dans le monde qu'il a pris des leçons de distinction; cependant la terre d'Angleterre ne contenait pas de plus parfait gentleman que lui. Sa science ne constituait même pas la moitié de sa grandeur, car elle ne pouvait révéler la splendeur et la délicatesse de son cœur ».

PROGRAMME DES FETES DU CENTENAIRE

L'EXPOSITION DE L'ALBERT HALL (du 22 au 25 septembre 1931).

L'Illumination des monuments.

Londres, au nom du monde scientifique tout entier, apporte un digne tribut d'hommage au génie de MICHEL FARADAY. Les hommes de science d'un grand nombre de pays se sont rassemblés ici pour honorer sa mémoire et ses travaux.

L'exposition de FARADAY, ouverte à l'Albert Hall, nous montre les résultats des miraculeuses inventions qui se sont succédé pendant un siècle remarquable pour les progrès mécaniques ; elles couvrent le monde de leur rayonnement multiforme ; toutes sont issues de la première expérience faite il y a cent ans par FARADAY, pour produire de l'électricité au moyen du magnétisme.

La *British Association*, sous la présidence du général SMUTS, tient, à Londres, au cours de cette période de commémoration, la réunion de son centenaire ; mais la célébration la plus éclatante, du centenaire de la grande découverte de FARADAY, bien qu'elle n'ait pas été réalisée spécialement dans ce but, s'est manifestée depuis le début de septembre devant les yeux de millions de Londoniens.

L'éclairage par projecteurs, que nous avons contemplé avec admiration pendant les trois dernières semaines constitue, pour la plus grande part, un des aspects de l'immense superstructure d'inventions pratiques basées sur les recherches de FARADAY.

Il existe une connexion directe entre le patient travail poursuivi par FARADAY au fond de son laboratoire et ces éblouissants décors nocturnes créés par la concentration de puissants foyers d'éclairage sur les monuments les plus fameux et les plus remarquables de la Métropole.

Appareils et Modèles.

Si l'éclairage par projecteurs est, pour nos yeux, la partie la plus attirante des fêtes du centenaire, l'exposition de l'Albert Hall est en-

core, à un autre point de vue, très impressionnante. Aucune peine n'a été épargnée pour la mettre à la hauteur d'une si grande circonstance.

L'objet de l'exposition entreprise, comme il convenait, par *l'Institution of Electrical Engineers*, avec la collaboration de la *Royal Institution*, est de présenter, côte à côte, d'une part les expériences mêmes de FARADAY, de l'autre les immenses conséquences qui ont été tirées de ses découvertes.

Peut-être la meilleure manière de commencer la visite de l'exposition est-elle de s'arrêter d'abord devant la reproduction exacte et en vraie grandeur du Laboratoire de FARADAY.

Sa reconstitution a été menée à bien par le *Musée Médical historique du Bon accueil*. Cette petite chambre, où l'on peut se représenter en imagination le grand chercheur au travail, constitue en quelque sorte un hall d'introduction à la salle elle-même où l'on voit, groupés dans les stands, les fruits divers tirés de ses travaux.

Au centre de l'exposition, sur le pourtour d'une plate-forme que domine la statue de FARADAY, on a rassemblé une collection de ses reliques personnelles.

Sur le cercle intérieur des stands, entourant la plate-forme centrale, sont exposés ses propres travaux. La *Royal Institution* a ordonné cette partie si intéressante de l'exposition où les visiteurs peuvent voir répéter les expériences réellement faites par l'homme que l'on commémore.

Sur le cercle extérieur des stands qui occupe, par suite, la partie la plus importante de l'exposition, on a disposé tout ce qui peut donner une représentation aussi complète que possible des multiples applications des recherches électriques et chimiques de FARADAY. Tout est du plus haut intérêt, aussi bien pour le spécialiste que pour le profane.

Un grand nombre d'associations industrielles et de corporations diverses ont coopéré à cet effort commémoratif. La production de l'électricité, son transport, sa distribution, ses transformations, ses emplois industriels, commerciaux, domestiques, beaucoup d'autres applications de la science, y figurent sous forme d'appareils et de modèles en fonctionnement.

La chaîne complète des procédés successivement employés, depuis la grossière manutention du charbon, jusqu'aux derniers raffinements de la radiotélégraphie et de la radioffusion, est ainsi présentée avec profusion et de la manière la plus vivante ; les visiteurs peuvent no-

tamment se rendre compte de la manière dont le réseau dit « Grille Nationale » relie entre elles, sous l'impulsion du *Comité Central d'Electricité*, toutes les stations génératrices de Grande-Bretagne.

Dans la section de Radiologie, on constate les derniers progrès réalisés dans la production des rayons X et dans leurs applications ; parmi les maquettes, figure celle du poste régional de radiodiffusion d'Ecosse.

L'éclairage de l'Albert Hall, évoquant encore les liens qui le rattachent à Faraday, est extrêmement beau et décoratif. Un velum, recouvrant complètement le plafond, est inondé de lumière par les feux de la galerie supérieure (l'exposition n'occupant que le rez-de-chaussée du Hall) et un grand luminaire central de 13 m de haut est suspendu à la voûte.

Des arches lumineuses disposées en cercle et des appliques fixées aux colonnes de la galerie, complètent la décoration.

La British Association

Cette exposition constitue la forme tangible du tribut apporté à la mémoire de Faraday. Ses travaux sont, en outre, commémorés cette semaine, par les discours de savants venus de tous les pays et en l'honneur desquels un vaste programme de réceptions et de réunions a été organisé par la *Royal Institution*.

La première de ces réunions est celle du 21 septembre à Queens' Hall. Des représentants distingués d'institutions scientifiques des diverses nations du monde y retracent les services que Faraday a rendus à l'humanité.

Par suite d'une heureuse coïncidence, les réunions de la *British Association* se tiennent à Londres en ce moment et les délégués au Congrès International d'Eclairage, dont la moitié environ sont étrangers, peuvent participer à la célébration du centenaire.

Mercredi après-midi le général Smuts déclarera officiellement ouverte au public l'Exposition de Faraday et, dans la soirée, il prononcera son adresse présidentielle à la *British Association*, dans le Hall Central de Westminster.

Le lendemain, les délégués et d'autres invités prendront part à une garden party donnée au *National Physical Laboratory* par son Directeur, Sir Joseph Petavel et, le soir, à une réception à l'hôtel de la

Royal Society, à Burlington House ; les invitations seront faites au nom du Comité et de son Président, Sir Frederik Gowland Hopkins.

Vendredi, les délégués seront conviés, avec d'autres invités, à un banquet offert par le Gouvernement Royal à Dorchester Hôtel, Park Lane, banquet que M. Mac Donald doit présider. C'est alors que se termineront les fêtes les plus intéressantes et les plus significatives qui aient marqué, en Grande-Bretagne, l'histoire de la Science.

LA FORMATION D'UN SAVANT

L'HÉRÉDITÉ ET LE MILIEU

L'Investigation consciencieuse,

par le Professeur Wilhelm Ostwald

Pour comprendre la personnalité tout à fait extraordinaire de Michel Faraday, nous devons étudier les deux éléments constitutifs de toute personnalité, savoir : l'hérédité et le milieu.

Sur le premier, nous ne connaissons que très peu de chose de nature à nous éclairer.

Mais sur le second, nous savons beaucoup.

Effectivement, Faraday a, dans une large mesure, créé son propre milieu et il s'est ainsi donné la possibilité d'utiliser au mieux tous ses caractères héréditaires.

Les parents de Faraday appartenaient aux classes les plus humbles de la population. Rien ne révèle, dans l'espèce, contrairement à ce que l'on observe souvent, que le père du grand homme se soit nettement élevé au-dessus du milieu où il était né.

Faraday père était un homme tranquille, qui n'avait guère réussi dans la lutte économique pour l'existence et qui avait satisfait ses besoins religieux en adhérant à la petite communauté religieuse des Sandémaniens, laquelle cherchait à appliquer, entre ses membres, le christianisme intégral.

Son illustre fils resta membre de cette communauté et accepta d'y remplir un office. Entre ses idées religieuses, qu'il regardait comme strictement personnelles, (ainsi il ne permit jamais à sa femme d'y prendre aucune part) et ses idées scientifiques, il avait élevé au-dedans de lui-même une cloison impénétrable excluant entre elles toute relation et, jusqu'à la fin de sa vie, il ne modifia rien à cette manière d'être.

La mère de Faraday nous est représentée comme une ménagère laborieuse à qui aucune tâche ne semblait trop lourde pour le bien de

son mari ou de ses enfants. D'après ce que l'on sait d'elle, aucun sujet intellectuel ne l'a jamais intéressée.

De même, ni les frères ni les sœurs de Faraday ne se sont élevés au-dessus du modeste niveau de leur petit monde. Un des frères, qui se fit plombier, mourut jeune d'un accident. Il n'y a rien à rapporter au sujet de ses deux sœurs.

Il semble donc que nous ayons affaire ici à un de ces cas de variation spontanée et brusque que de Vries a si complètement étudiés et auxquels il a donné le nom de « mutation ». Malheureusement, le facteur le plus important manque dans le cas présent, soit la non transmissibilité du nouveau caractère acquis, car Michel Faraday n'eut pas de postérité. Nous devons donc nous contenter d'une simple hypothèse.

En ce qui concerne l'influence du milieu sur le développement intellectuel de Faraday, les circonstances étaient telles qu'il eut à pourvoir lui-même aux nécessités de son existence. Ses efforts eurent pour buts, dès le début et simultanément, sa propre instruction et les réalisations pratiques.

Guidé par le même instinct qui dirige un caneton vers l'eau, il chercha d'abord à pénétrer dans cet océan de connaissances universelles qu'est le monde des livres ; devenu apprenti relieur, il pouvait lire les ouvrages avant de les relier. Son attrait pour les réalisations pratiques le préserva de devenir un simple puits de documents, un rat de bibliothèque. Il entreprit, avec ses très maigres ressources, de mettre en pratique les notions qu'il avait trouvées dans les « Conversations sur la Chimie » de l'excellente Mme Marcet et dans l'article « Electricité » de « l'Encyclopédie Britannique » et bien souvent il y réussit ; sa méthode expérimentale resta toujours identique à ce qu'elle avait été dès cette époque modeste de sa jeunesse.

Il analysait toujours les problèmes mentalement jusqu'à ce qu'il fût à même de les résoudre par les moyens les plus simples. Quand Helmholtz vint le voir vers la fin de sa vie et visita son laboratoire, il s'étonna du petit nombre de fils de cuivre et de barres de fer qui lui avaient suffi pour réaliser ses découvertes les plus fécondes.

Perfectionnement mutuel.

En dehors de ce que lui apprenaient les livres, Faraday s'instruisait aux conférences du soir d'un M. Tatum pour lesquelles son frère lui payait ses entrées de temps à autre.

Il inscrivait tout ce qui l'avait frappé, et il intitula son cahier de notes : « The Philosophical Miscellany ».

Avec quelques jeunes gens de son âge et de même tendance d'esprit, il fonda une association d'instruction mutuelle supérieure, à laquelle il fit des conférences.

Il attachait la plus grande importance à acquérir une grande facilité de parole et de rédaction et ses fameuses conférences du vendredi soir à la *Royal Institution* montrèrent amplement à quel degré son ambition s'était réalisée.

L'événement décisif de sa vie se produisit en 1812, alors qu'il avait 21 ans.

On lui procura quelques entrées aux Conférences de Sir Humphry Davy à la *Royal Institution;* c'étaient les dernières que fit Davy. Faraday en reçut une profonde impression et son désir de consacrer sa vie à la science devint irrésistible. Il nota soigneusement ce qu'il avait entendu, relia son manuscrit en un volume in quarto et l'envoya à Davy en lui demandant un emploi dans son Laboratoire.

Davy fit bon accueil à sa requête et l'engagea en mars 1813. C'est ainsi que Faraday fut introduit dans le milieu où il devait passer le reste de son existence.

Une autre bonne fortune lui échut 6 mois plus tard. Davy avait conçu le projet d'un long voyage en France, en Suisse, en Italie et en d'autres pays. Mais tout faillit échouer au dernier moment, en raison de la défection du courrier qui devait l'accompagner. A la demande de Davy, Faraday accepta de remplir cette fonction qui comportait tous les services, depuis ceux de secrétaire jusqu'à ceux de domestique personnel, et il eut ainsi l'occasion de faire à l'étranger la connaissance de la plupart des chercheurs scientifiques éminents de son temps.

Le premier travail personnel de Faraday était du domaine de la chimie. Ce travail lui valut l'attention et le respect de ses contemporains, mais il n'avait rien de révolutionnaire. Ce fut quand, à l'âge de 30 ans, il revint à l'électricité, ce premier amour scientifique de sa jeunesse, qu'il obtint les résultats les plus frappants et les plus importants.

Ce fut une influence étrangère qui l'inspira.

Il avait entrepris d'exposer, dans le Quarterly Journal de la *Royal Institution*, les relations connues à cette époque entre l'électricité et le magnétisme.

En chercheur consciencieux, il répétait toutes les expériences qu'il voulait décrire et, ce faisant, s'inspirant d'une observation pénétrante de Wollaston, il découvrit la rotation d'un courant autour d'un aimant ainsi que le phénomène inverse.

Approfondissant encore ces problèmes et bien qu'interrompu plus d'une fois par ses travaux de chimie, il résolut d'explorer méthodiquement le domaine entier de l'électricité pour rechercher les formes multiples de sa transformation en d'autres forces naturelles.

Ce travail donna le jour aux fameuses « Researches on electricity » qu'il publia dans les « Philosophical Transactions » de la *Royal Society*, de 1832 à 1850 ; il y relata en nombre presque indéfini, les découvertes les plus fécondes, depuis la loi fondamentale de l'électrolyse qui porte son nom, jusqu'à la théorie des lignes de force qui a reçu, à un degré plus marqué encore, l'empreinte ineffaçable de son génie.

Nous pouvons bien nous demander comment un homme qui n'avait reçu qu'une modeste instruction élémentaire, qui avait été forcé de s'instruire lui-même et n'avait jamais été initié aux secrets des mathématiques supérieures, a pu néanmoins accomplir des découvertes scientifiques de première importance dans un domaine que la pénétration mathématique d'un Ampère n'avait pu qu'aborder.

La réponse est double.

En premier lieu, Faraday avait eu de bonne heure l'intuition que toutes les forces naturelles sont en relations entre elles et peuvent être transformées les unes dans les autres.

Il ne lui fut pas toutefois donné de saisir la loi de la conservation de l'énergie dans toute sa simplicité et sa généralité ; elle fut découverte (par Mayer, en 1842, par Joule en 1843) alors que Faraday avait parcouru la moitié de sa carrière scientifique ; cependant, la généralité des relations entre les forces physiques s'imposait constamment à son esprit. Il entreprit de mettre en évidence toutes leurs combinaisons possibles, entre elles et surtout avec l'électricité. Ainsi la loi de Faraday exprime une relation entre l'électricité et la chimie et sa découverte de la rotation magnétique du plan de polarisation touche aux relations entre l'électricité et la lumière.

Le second des grands auxiliaires de sa pensée, qu'il créa de toutes pièces et qu'il mania avec maîtrise, fut la représentation géométrique des forces, en particulier par les lignes de force.

Ici, il s'agit non pas d'un symbolisme tel que celui employé en algèbre et en analyse mathématique et dans lequel un système de lettres, entièrement hétérogène, représente les grandeurs et les directions, mais bien des conditions réelles d'une existence objective ; car les forces agissent dans l'espace et la matérialisation de leurs directions par les lignes de force de Faraday fournit, dans le cas de l'électricité et du magnétisme, une représentation directe de leur véritable structure.

Cette manière de représenter les méthodes de travail de la Nature était si entièrement nouvelle et elle parut si étrange à ses contemporains qu'ils n'y purent rien comprendre ; il était réservé à un génie de même rang, Clerk Maxwell, de traduire la nouvelle géométrie de Faraday dans le langage courant de l'analyse moderne.

Si nous recherchons les origines des grands pionniers des sciences exactes, nous constatons que, jusqu'au début du xix[e] siècle, ils sont très souvent issus de parents pauvres, sans éducation et sans distinction. Plus toutefois nous approchons de notre époque et plus s'élève le niveau de la classe d'où ils sortent. Faraday (né en 1791) et Gauss (né en 1777), sont parmi les derniers de la première catégorie ; William Thomson (Lord Kelvin) (né en 1822) et Helmhotz (né en 1821), qui appartenaient à la génération suivante, étaient fils de professeurs. La cause de cette évolution se trouve dans le développement incessant de la science.

Elle ne peut progresser que par sa région supérieure, limite de l'inexploré et de l'inconnu ; le chercheur doit partir de ses dernières conquêtes pour pouvoir pénétrer dans les domaines où des découvertes restent possibles ; pour explorer l'inconnu, il doit être entièrement familier avec le connu.

Nous devons consacrer quelques mots à l'attitude de Faraday en face de la loi de la conservation de l'énergie.

Nous connaissons les insurmontables difficultés qu'elle souleva dans son esprit, difficultés dues à la confusion des notions de force et de travail. Mayer eut à lutter avec ces mêmes difficultés, mais il réussit à les surmonter.

Le journal de Faraday nous apprend que, à l'automne de 1841, il fit un court séjour à Heilbronn, pays natal de Mayer, où il médita sur ces problèmes.

Une nuit, de sa fenêtre, il vit, dans le ciel, un phénomène déconcertant : une étoile paraissait suivre, parmi ses sœurs immobiles, une trajectoire fantaisiste. Le lendemain, on découvrit que c'était la lanterne du gardien de la tour chargé de guetter, au cours de ses rondes, les commencements d'incendie.

Nous pouvons peut-être regarder cette petite histoire comme un symbole, car Faraday, en dépit des efforts de Joule et de William Thomson, ne put jamais adopter leurs vues sur la loi de l'énergie et ce fut pour lui une grande humiliation lorsqu'à la fin de sa carrière, les éditeurs des « Philosophical Transactions », qui lui devaient tant, re-

fusèrent d'imprimer un article dans lequel il développait sa manière de voir.

Il prit des dispositions pour le faire paraître ailleurs, mais la postérité ne put, sur ce point, lui donner raison.

Notre admiration pour FARADAY s'accroît en constatant que ses travaux étaient constamment interrompus par son épuisement physique. Lorsqu'il eut terminé les 10 premières séries de ses recherches de quatre années sur l'électricité, il dut s'interrompre pendant 2 ans avant de les reprendre. Il passa ces deux années en Suisse.

Sa constitution n'avait guère souffert, mais il ne pouvait plus concentrer son effort intellectuel et sa mémoire donnait des signes de faiblesse.

Ces symptômes s'atténuèrent peu à peu quand il eut abandonné son laboratoire, mais ils réapparurent sous l'influence du travail, lentement d'abord, puis plus rapidement.

Nous pouvons, aujourd'hui, risquer l'hypothèse que ce n'est pas seulement de surmenage qu'il souffrait, mais aussi d'un empoisonnement mercuriel chronique, dont les symptômes ont été décrits, il y a quelque temps et d'après une expérience personnelle, par le Professeur STOCK ; ces symptômes coïncident dans une large mesure avec ceux de FARADAY, comme le professeur STOCK l'a lui-même noté.

Si nous examinons les dessins dont FARADAY accompagnait ses articles, nous pouvons facilement remarquer quel usage étendu il faisait de coupelles pleines de mercure et ouvertes, pour établir rapidement les connexions électriques. Les vis et les plots de connexion n'avaient pas encore été inventés à cette époque. Souvent, sans aucun doute, un fil glissait hors de la coupe et projetait quelques gouttes de mercure, en sorte que le plancher du laboratoire dut en être bientôt saturé, entretenant une source constante de vapeur mercurielle vénéneuse. La sensibilité au poison est variable; chez FARADAY, elle semble avoir été fort grande.

Il est merveilleux de constater avec quel calme FARADAY fit face au tragique destin qui entravait sa puissance d'invention, celle de ses qualités qu'il considérait comme la plus précieuse pour lui-même et pour l'humanité.

Mais la science, à laquelle il avait dévoué sa vie, lui apportait la consolation de pouvoir considérer son propre cas avec la même objectivité qu'il avait consacrée à scruter si profondément les secrets les plus cachés de la nature.

LABORATOIRE ET PLATE-FORME

L'ENSEIGNEMENT DE LA SCIENCE

Travaux pour le Gouvernement

par le Major C. E. S. Phillips,
Secrétaire de la Royal Institution.

Bien que les ressources financières trop limitées de la *Royal Institution* ne lui aient pas permis, dans les premières années de sa fondation, de rémunérer convenablement ses professeurs, elle leur a toujours offert des facilités exceptionnelles pour poursuivre, entre ses murs, leurs recherches expérimentales.

Cet état de choses, tout en ayant l'avantage d'attirer ceux qui étaient disposés à faire passer la recherche scientifique avant leur profit personnel, accentuait naturellement pour eux la tentation d'entreprendre des travaux supplémentaires en dehors de l'*Institution*.

Il est évident qu'en fait Faraday aurait pu facilement gagner beaucoup d'argent comme ingénieur conseil; mais de tels travaux auraient apporté un trouble considérable dans la série de ses expériences.

En 1827, en déclinant l'offre d'une chaire de chimie à l'*Université* de Londres, il écrivait :

« Je considère comme un devoir de reconnaissance de ma part de faire ce que je peux pour le bien de la *Royal Institution*, dans cette tentative actuellement faite pour l'établir sur des bases solides. »

Il est heureux pour la postérité que ce sens élevé de loyauté l'ait emporté chez lui.

Deux ans plus tard, on le pressentait pour faire une série de conférences de chimie à l'*Académie Militaire* de Woolwich. Grâce à la courtoisie du commandant (Major Général Wagstaff) auquel j'adresse mes plus vifs remerciements, je puis citer, à ce sujet, un document encore inédit :

Le Colonel (depuis Général Sir Charles) Pasley dit, dans un rapport du 25 mai 1829 :

« La dernière fois que j'ai été à la *Royal Institution*, j'ai demandé

à M. Faraday, qui est certainement et de beaucoup le meilleur conférencier de chimie, s'il pouvait se charger de faire un cours aux cadets de Woolwich ».

Une lettre de Faraday, se référant aussi à cette demande de conférences et qui est adressée, le 29 juin 1829, au Colonel Drummond (alors Gouverneur de l'*Académie Royale Militaire*) contient le passage suivant :

« Permettez-moi, avant de clore cette lettre, de vous remercier, ainsi que les autres personnes qui ont pu s'occuper de ma nomination, de la bonne opinion qui vous a amené à me proposer. Je considère cette offre comme un grand honneur et je vous prie d'être assuré que je l'apprécie pleinement. J'aurais été heureux de l'accepter ou de la refuser indépendamment de toute considération pécuniaire; mais mon temps est ma seule richesse et celui que je consacrerais aux devoirs de ma nouvelle fonction devrait être pris sur celui que j'aurais, autrement, consacré à mes occupations professionnelles ».

Les arrangements définitifs furent pris en décembre de cette même année et la première conférence paraît avoir été faite, à 11 heures du matin, le mercredi 30 mars 1830. Elle peut être considérée comme le premier service officiellement rendu à l'Etat par Faraday.

Il continua ses conférences à l'*Académie Royale Militaire* de 1830 à 1849, aux appointements de 5 000 francs par an.

Faraday était en outre consulté, de temps à autre, par l'Amirauté, par le Ministère des Eaux et Forêts, par le Ministère de l'Intérieur, par le service de l'Artillerie, par le *British Museum*, par la Régie, etc... et, en 1862, appelé à déposer devant la *Commission de l'Enseignement public*, il se fit l'avocat chaleureux de l'enseignement des sciences.

Sur une requête du service des contributions, la *Royal Society* nomma, en 1832, une Commission chargée de définir les caractéristiques de l'alcool étalon. Faraday était membre de cette commission et, le 12 février 1833, il déposait un rapport recommandant d'adopter, comme étalon d'essai, de l'alcool étendu et non de l'alcool absolu. Cette proposition fut adoptée.

Il faut aussi mentionner que Sir Robert Peel, alors qu'il était premier ministre, désigna Sir Charles Lyell et le Professeur Faraday pour rechercher la cause d'une grave catastrophe minière survenue aux houillères de Haswell, dans le Comté de Durham, le 28 septembre 1844.

Aux tâches ainsi assumées pour le service national, il faut joindre un avis qu'il donna au sujet des préparatifs à prévoir pour faire exploser par l'électricité l'épave du Royal George; en beaucoup d'autres occasions, il rendit des services importants à l'un ou à l'autre des départements ministériels.

L'année 1831, rendue mémorable par sa grande découverte, trouva FARADAY très activement engagé dans un grand nombre de directions.

Ainsi, en plus de ses recherches et travaux divers à la *Royal Institution* et de ses conférences à Woolwich, sa nomination, en 1836, au poste de conseiller scientifique de *Trinity House*, lui fournit une occasion particulière de rendre des services à son pays.

L'expérience pratique acquise par lui dans son laboratoire représentait, dans l'espèce, une valeur immense, et bien qu'aujourd'hui on ne trouve dans les phares que peu de traces de ses travaux, FARADAY exécuta un grand nombre d'essais ayant trait aux progrès successifs qui ont abouti graduellement à l'adoption des dispositifs modernes dans la pratique des phares.

Son premier travail pour *Trinity House* avait pour objet de perfectionner les systèmes de lentilles suggérés à l'origine par FRESNEL ; il donna lieu à nombre d'importantes discussions avec CHANCE, le fameux fabricant d'appareils de Birmingham.

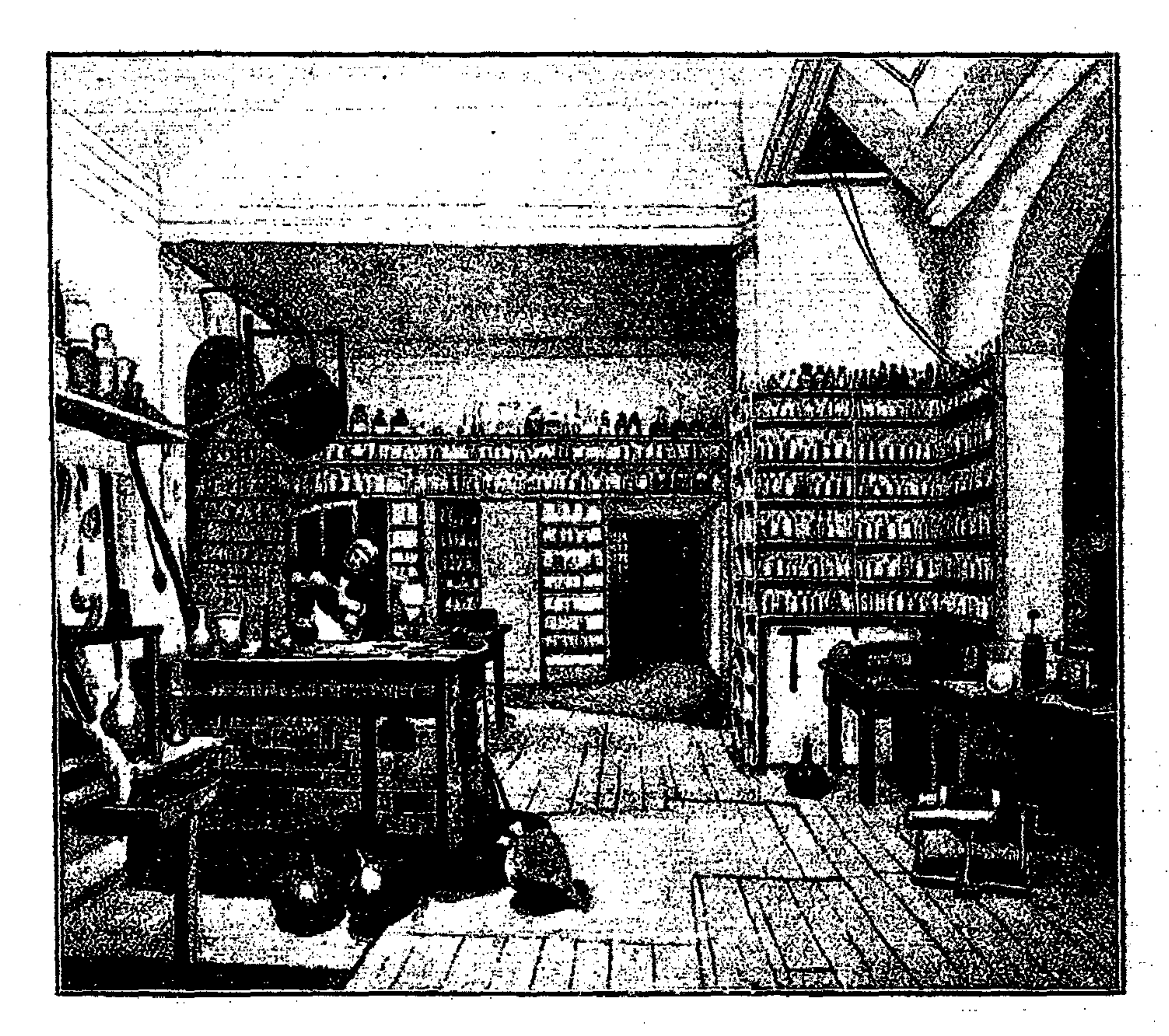
Je désire exprimer mes remerciements au Directeur et aux Confrères de *Trinity House* pour avoir bien voulu me laisser consulter les innombrables articles et rapports faits par FARADAY pendant la période (de près de 30 ans) où il fut en relations officielles avec la corporation de *Trinity*.

On lui posa un grand nombre de questions ; les recherches et les rapports qu'il fit témoignent invariablement du grand soin, de la sincérité, de l'impartialité qu'il apportait à l'accomplissement de ses devoirs. L'expérience qu'il avait déjà acquise dans la fabrication des verres à la *Royal Institution*, en 1825, au cours de quelques essais exécutés à la requête de la *Royal Society* en vue de perfectionner les appareils d'optique, le qualifiait tout spécialement pour donner un avis sur la meilleure qualité de verre à employer dans les lentilles ainsi que sur d'autres questions pratiques.

Les méthodes utilisées dans les phares et qui avaient été généralement établies empiriquement, par à peu près, suivant la seule règle du coup de pouce, furent soumises par FARADAY à un examen scientifique sévère.

De son temps, toutes les lampes étaient munies de mèches alimentées par un réservoir d'huile.

Il compara minutieusement les propriétés des huiles de diverses provenances ; il mesura et photographia les flammes obtenues avec différents types de mèches.



FARADAY dans son laboratoire de chimie en 1852.
(Tableau de Hariet-Moore, propriété de la Royal Institution).
(Photographie reproduite avec l'autorisation de la Royal Institution).

Une des plus sérieuses difficultés que l'on rencontrait dans les phares était l'absorption de la lumière par l'eau qui se déposait sur les lentilles. La lanterne elle-même était exposée à se remplir de fumées provenant des lampes. Il inventa une forme simple et efficace de cheminée de ventilation, mise en action par le courant ascendant des gaz chauds de la flamme.

Parmi de nombreux essais, il rendit compte de l'examen des échantillons d'eau potable consommée dans les phares, ainsi que des échantillons de céruse et de minium employés pour la peinture des

charpentes. De nombreux projets de perfectionnements à la forme des lampes, des lentilles, des lanternes, furent soumis à ses expériences et à ses critiques; pour montrer l'attitude prudente qu'il adoptait toujours en des cas semblables, attitude basée sur le sentiment profond de la responsabilité qu'il aurait encourue en exprimant une opinion qui ne fût pas fondée, nous pouvons citer un paragraphe d'un de ses rapports. Ce paragraphe a trait aux propositions faites en 1852 par le Dr WATSON pour l'adoption de la lumière électrique dans les phares. Cette invention, mise au point par l'Electric Power Light and Colour Company, de Wandsworth, nécessitait l'emploi de batteries voltaïques pour la fourniture de l'énergie. Vers la fin de son long rapport, FARADAY dit :

« Malgré tout mon désir de voir utiliser la lumière électrique dans les phares, je ne puis recommander son adoption dans les circonstances actuelles. Aucun dispositif réalisé par l'homme ne nécessite plus de régularité et de sûreté de service qu'un phare. Il inspire au marin la même confiance qu'une loi de la nature et, quand le soleil se couche, le marin attend, avec la même certitude, l'apparition de sa lumière ».

FARADAY vécut cependant assez pour voir introduire pratiquement l'emploi, à cette fin, de la lumière électrique. Il apporta un témoignage important devant la Commission Royale constituée en 1859 pour l'étude des bouées et balises.

Pendant l'année 1857, HOLMES avait réalisé la machine magnéto-électrique qui permettait de produire le courant électrique par des moyens mécaniques et dont le fonctionnement reposait, en fait, sur une des découvertes les plus fécondes de FARADAY.

Après de nombreuses expériences sur cette invention, la lumière électrique fut mise à l'essai, en décembre 1858, au grand phare de South Foreland, tout en prenant la précaution, comme on le fait encore aujourd'hui, de ménager un système d'éclairage de secours en cas d'accident.

Une machine magnéto-électrique perfectionnée fut aussi construite quelques années plus tard par la Compagnie de l'Alliance, à Paris.

Dans une description détaillée qu'il en a faite, M. AUGUSTE BERLIOZ écrit :

« L'objet de cette machine est de produire, de recueillir et d'entretenir un courant électrique sensiblement continu et d'employer industriellement l'électricité produite par l'induction magnétique ou par l'influence d'aimants, sur des corps conducteurs passant momentanément dans leur sphère d'action ».

Il continue en disant que l'invention est basée sur le principe découvert par l'immortel FARADAY.

Dans les archives de *Trinity House*, on trouve un long rapport sur cette machine qui constituait évidemment, à beaucoup d'égards, un progrès sur celle conçue par HOLMES.

Dans un phare moderne, on trouve peu de choses que l'on puisse associer directement au nom de FARADAY; mais il ne faut pas oublier que c'est lui qui, par ses découvertes fondamentales sur l'électricité, a permis de réaliser les puissants systèmes modernes de production d'énergie électrique dont dépendent aujourd'hui l'éclat et la sécurité des grands phares côtiers.

Son dernier rapport à *Trinity House* fut reçu en 1865 et, un an plus tard, sa mauvaise santé le forçait à céder sa place à son ami JOHN TYNDALL, qui était aussi professeur à la *Royal Institution*.

Dans une lettre à Lord AUCKLAND, FARADAY a écrit un jour :

« En loyal sujet, je me suis toujours tenu prêt à rendre service au Gouvernement ».

UN ÉTUDIANT EN ÉCRITURE SAINTE

RAISON ET RELIGION

La Bible annotée de Faraday

par H. MARRYAT

MICHEL FARADAY était un homme profondément religieux. Pour employer ses propres termes, il appartenait à « une secte chrétienne infime et méprisée, connue, si tant est qu'elle le soit, sous le nom de Sandémaniens ». La discipline de cette secte devait être sévère car, lorsque FAFADAY manqua une fois, pour se rendre à une invitation à déjeuner obligatoire chez la Reine VICTORIA, à l'assistance au service du dimanche, qui occupait toute la journée, il fut frappé d'excommunication. Ce traitement ne paraît cependant avoir excité en lui ni colère ni ressentiment, car il continua à assister régulièrement aux offices et, plus tard, il fut admis de nouveau dans la communauté.

Il ne parlait jamais de sa religion, sauf pour décocher une riposte directe à quelqu'un assez hardi pour lui poser une question ; dans ses écrits, il n'y fait allusion que dans quelques passages d'une noble expression, mais conçus en termes généraux. Il disait :

« Il n'entre pas de science dans ma religion », ce qui revenait à proclamer la conviction que, au-dessus et au delà de tout ce que l'homme peut observer ou calculer, il est quelque chose qui doit toujours rester inconcevable.

Les biographes de FARADAY nous donnent l'impression que sa vie comportait deux compartiments distincts : l'un, dans lequel sa grande intelligence explorait la nature, l'autre consacré à la religion et où la raison ne pénétrait jamais.

THOMPSON (MICHEL FARADAY : Sa vie et sa correspondance) va jusqu'à dire : « FARADAY ne paraît pas avoir jamais admis la possibilité d'une faute d'origine humaine dans l'impression, l'édition, le collationnement ou l'ordonnancement de la Bible ».

Ceci est difficile à croire ; pour mieux nous éclairer, jetons les yeux sur sa Bible personnelle.

Elle paraît avoir été pour lui une amie de toute la vie. L'usure des pages révèle de fréquentes lectures, mais faites avec tant de soin que ces pages n'ont jamais été salies ni écornées. C'est une édition publiée à Oxford, en 1776 et vendue, brochée, 3 sh 6 pence. C'est sans doute avec amour qu'il l'a reliée lui-même et avec tant d'habileté professionnelle, que les feuillets sont encore aussi solidement fixés qu'au jour où le travail fut terminé.

Les plats en cuir sont intacts ; le nom de FARADAY y est imprimé en or. Les pages de garde portent trois fois sa signature au crayon.

Les notes manuscrites de FARADAY, au nombre de 50, se réfèrent surtout au texte placé en regard ; mais quelques-unes sont caractéristiques, comme, par exemple, le mot « tribut » écrit en face de la référence I. SAMUEL XXV. 5-8 : « DAVID envoie les dix jeunes hommes à

a b c d e f g h i j k

Notations employées par FARADAY dans les marges de sa Bible.

NADAL pour demander des présents », et le mot « MAMMON » en face des passages appropriés.

Toutefois, l'attention est principalement attirée par 2 949 signes proprement crayonnés dans les marges et qui reflètent, d'une manière très intime, les réactions de FARADAY au cours de ses lectures.

Bien que la période de temps au cours de laquelle ils furent tracés ait été considérable, ces signes sont toujours faits suivant un modèle constant et chacun a un sens particulier.

Ils sont reproduits dans la figure ci-contre ; *a* est sa marque personnelle ; *b* la même, accentuée. Le signe marqué *d* est intéressant ; il note des passages n'ayant pas trait à la religion, tels que ceux concernant les tremblements de terre, la foudre, les pierres précieuses, l'emploi des métaux, le martelage et la ciselure de l'or, les poids et mesures, les outils, les récipients en jonc, l'esclavage.

Le fait que FARADAY, contrairement à ce que supposait THOMPSON, n'admettait pas que cette édition fût littéralement parfaite, est abondamment prouvé par les corrections qu'il a apportées aux erreurs d'impression et, s'il acceptait l'infaillibilité de la traduction, ce qui semble peu probable, il n'hésitait pas du moins à améliorer le texte anglais quand il le jugeait nécessaire.

La signification de ses nombreux points d'interrogation est difficile à saisir. Quelques-uns, sans nul doute, indiquent qu'il ne comprend pas ; d'autres peuvent exprimer un doute sur l'exactitude du texte. Un des nombreux passages ainsi marqués est le suivant : Deut. IX 13-14 : « Le Seigneur me parla en disant... laisse-moi seul, pour que je les détruise et que j'efface leur nom de dessous les cieux ».

De longs passages, dans lesquels les noms propres sont soigneusement marqués, paraîtraient indiquer la préparation d'une lecture à haute voix. Les signes *f* à *j*, dans l'ordre ci-dessus indiqué, se rapportent à des textes choisis, pour sujets de sermons, par ses amis Wass, Light, Nixin, Barnard et Buchanan.

Faraday prit comme sujet de son premier discours « d'ancien » un texte de Matheu, XI 28-30 : « Venez à moi, vous tous qui travaillez et qui êtes chargés et je vous soulagerai. Prenez mon joug sur vos épaules et apprenez de moi que je suis doux et humble de cœur ».

Ce passage, avec ses références correspondantes dans les deux Testaments est annoté, comme le sont aussi les sujets de beaucoup d'autres de ses discours.

Sa jeunesse de caractère, souvent signalée par ses contemporains, se révèle par un signe appuyé en face de certains récits tels que celui du naufrage de saint Paul, tandis que son extrême mépris de l'argent en lui-même est proclamé par les textes qu'il a soulignés, tels que celui de Timothée, VI 10 : « L'amour de l'argent est la source de tous les maux » ou de Marc, VIII 36 : « A quoi sert-il à un homme de gagner l'univers, s'il vient à perdre son âme ? » Son amour de la tolérance et de la charité peut se reconnaître de même aux passages de son choix et la pratique constante de ces vertus tout le long de sa vie est attestée par les faits qu'il souligne.

La raison qui lui a fait noter la loi défendant aux femmes de porter ce qui appartient en propre aux hommes, est moins évidente, à moins que, dès le début de l'ère victorienne, certaines femmes aient eu du goût pour l'attirail masculin. Un passage intéressant, vigoureusement marqué, se trouve dans l'exhortation faite à Timothée « d'éviter les bavardages et les discussions sur ce qu'à tort, on appelle la science. »

Le livre des psaumes, qu'il aimait, n'est pas marqué en moins de 237 endroits, notamment au psaume XLVI verset I : « Dieu est notre refuge et notre force », qu'il a récité à ses derniers moments.

Il y a, reliés dans le volume, quatre signets de soie qui n'ont pas été dérangés depuis des années et qui sont peut-être restés à la place même

où il les laissa. Ils marquent : Deut. XXXIII, Job XLII, le commencement des psaumes, et un passage traitant de l'excommunié : 2 Cor. II, sujet qui, rappelons-le, le concernait particulièrement au cours d'une certaine période de sa vie. Nous pouvons croire qu'il puisa de la force dans les mots qu'il a annotés spécialement à ce chapitre : « Nous ferions mieux de lui pardonner et de le réconforter, pour que ce malheureux ne soit pas submergé par un chagrin excessif. »

LE PRINCE DES EXPÉRIMENTATEURS

RECHERCHES AVEC UN OUTILLAGE ÉLÉMENTAIRE

Son sens physique inné

par Lord RUTHERFORD O. M., F. R. S.

Dans l'histoire des sciences physiques de notre pays, trois grands noms se présentent de suite à notre esprit, ceux de NEWTON, de FARADAY et de MAXWELL. Le premier est celui d'un des plus grands mathématiciens de tous les temps ; le dernier, celui d'un mathématicien accompli. Tous deux étaient doués d'un sens physique au-dessus de l'ordinaire. Le troisième, MICHEL FARADAY, n'avait aucune formation mathématique et pas une formule n'apparaît dans ses écrits.

Toutefois, dans le domaine de l'intuition physique et scientifique, il possédait les qualités essentielles du théoricien, sans en avoir la technique et c'était aussi un expérimentateur de premier ordre.

L'histoire de la vie et de l'œuvre de FARADAY a toujours exercé une puissante attraction sur les savants comme sur les profanes, car non seulement elle nous présente un homme d'un beau caractère et d'un haut idéal qui, en partant de la plus humble origine s'est élevé jusqu'à devenir le plus grand auteur des découvertes et le plus grand savant de son époque, mais elle nous fournit aussi un exemple des conséquences extraordinaires qui peuvent être tirées de l'étude patiente des lois de la nature dans la paix du laboratoire, loin de l'agitation des affaires et de la poursuite de buts pratiques.

Peu d'hommes, si même il en existe un seul, ont fait autant pour l'avancement de la science ou pour les ultimes progrès de la race humaine.

FARADAY a été souvent appelé le « Prince des expérimentateurs » et personne ne pourrait nier le remarquable pouvoir qui lui permettait de pénétrer jusqu'au cœur d'une question, grâce à quelques expériences bien combinées et bien exécutées.

C'est un plaisir aujourd'hui de lire les 4 volumes de ses « Collected researches ». On y trouve partout une telle nouveauté de pensées et

de vues jointe à une telle clarté d'exposition, que l'on a peine à se rappeler que la plupart de ces travaux furent écrits il y a près de 100 ans, à une époque où nos connaissances en électricité et en magnétisme étaient encore dans l'enfance.

FARADAY était plus qu'un grand expérimentateur : c'était un grand savant. Il cherchait, par ses expériences, non seulement à accumuler de nouveaux faits naturels et à mettre leurs relations en évidence, mais aussi à se rendre compte des lois physiques cachées sous les phénomènes étudiés.

Le désir d'établir une théorie physique et concrète des actions électriques et magnétiques, crut chez lui avec l'âge et l'expérience.

Ses premiers articles, spécialement ceux qui traitent de la chimie, ne contiennent guère que des listes de faits observés ; mais ses préoccupations théoriques apparaissent clairement, pour la première fois, lorsqu'il introduit la notion de l'état électrotonique en vue d'expliquer les phénomènes d'induction électromagnétique. Cette notion se dégagea clairement à la suite d'une splendide série de recherches exécutées en 1837 sur les propriétés diélectriques des isolants, lorsqu'il proposa, pour les expliquer, sa théorie bien connue de la transmission des actions électriques par la polarisation du milieu ; il ajoute avec une modestie caractéristique :

« Finalement, je me permets de dire que je propose ma manière de voir particulière avec quelque hésitation et quelque doute ; je crains qu'elle ne puisse supporter l'épreuve d'une discussion générale ; car, si elle n'est pas exacte, elle ne fera que nuire aux progrès de la science électrique. Elle a longtemps hanté ma pensée, mais j'ai hésité à la publier jusqu'à ce que la persuasion croissante de sa concordance avec tous les faits connus et la manière satisfaisante dont elle relie entre eux des phénomènes qui paraissaient être de catégories très différentes, m'aient engagé à écrire le présent article.

« Jusqu'à présent, je n'aperçois aucune contradiction entre elle et les faits naturels, au contraire, je crois constater qu'elle projette sur ceux-ci beaucoup de lumière ; mes prochains articles seront consacrés à passer en revue les phénomènes de conduction, d'électrolyse, de courant, de magnétisme, de charge, de décharge et quelques autres, à leur appliquer ma théorie et à la confronter avec eux ».

Voyage en Europe

Opposé à l'école mathématique de l'action à distance, FARADAY ne

cessait de proclamer l'importance du milieu environnant comme siège des forces électriques et magnétiques.

Il s'en faisait une claire vision grâce à la conception des lignes courbes de forces électriques et magnétiques qui est d'un emploi universel aujourd'hui.

L'importance de ces idées physiques fut pleinement reconnue par Maxwell, qui eut le génie de les formuler et de les généraliser sous une forme mathématique et qui nous donna, pour la première fois, une théorie satisfaisante des actions électromagnétiques.

Si nous considérons la vie de Faraday, nous sommes réduits aux hypothèses sur l'influence qu'ont pu exercer sur lui ses relations personnelles avec Sir Humphry Davy. Tout le monde a, présente à l'esprit, l'histoire suivant laquelle Davy le prit comme aide de laboratoire à la *Royal Institution* ; sans aucun doute, il reçut de lui ses premières leçons de manipulations physiques et chimiques et nous savons qu'il l'aida dans de nombreuses recherches et, en particulier, pour l'établissement de la lampe de mines de sûreté. Sir Humphry Davy était alors un des plus fameux personnages d'Europe. Non seulement c'était un chercheur d'une grande originalité et d'une grande puissance, mais aussi un conférencier éloquent et un admirable écrivain.

Faraday l'accompagna dans son voyage à travers l'Europe et, grâce à lui, il fit la connaissance de plusieurs grands savants étrangers. L'énergie et l'universalité de Davy à cette époque, sont bien mises en lumière par les expériences qu'il accomplit avec l'aide de Faraday pendant son voyage à Paris, à Rome et dans d'autres villes. D'étroites relations avec un homme si original et si énergique, ne purent que faire une impression durable sur un esprit ardent comme était celui de Faraday et exercer une influence marquée sur son précoce développement.

Il n'est pas nécessaire de parler ici de certaines difficultés qui s'élevèrent plus tard dans leurs rapports personnels. D'après ce que nous connaissons du tempérament de Davy, ce résultat était presque inévitable, car il est tout naturel que, dans cette première période, il n'ait pu se rendre complètement compte du génie encore latent de son collaborateur.

En lisant les notes de Faraday, il n'est pas facile de se bien représenter aujourd'hui les conditions dans lesquelles il poursuivait ses

recherches. Sans aucun doute, il disposait d'ingrédients chimiques et de réactifs simples mais, à l'exception d'une balance, il ne possédait, à cette époque, que peu ou point d'appareils de physique.

S'il avait déjà été construit d'assez grands aimants permanents et de petits électro-aimants, il n'existait aucune méthode de mesure du champ magnétique, dont on évaluait la force d'après le poids de fer que l'aimant pouvait porter. En dehors des machines statiques à frottement d'un type simple, les batteries de piles constituaient la seule source de courant électrique et, pour débiter un fort courant, ces batteries devaient être reconstituées chaque jour. On ne disposait d'aucun instrument pour mesurer le courant fourni par la batterie ; on l'évaluait par la méthode très approximative et sommaire consistant à déterminer, par tâtonnements, la longueur de fil de platine que cette batterie pouvait porter à l'incandescence. La loi d'OHM restait encore à formuler et on n'avait aucune notion claire de la tension et de la résistance.

On pouvait se procurer du fil de cuivre nu, mais, pour l'isoler, il fallait l'envelopper à la main de ficelle ou de calicot.

La longueur du fil employé pour constituer une bobine était toujours soigneusement mentionnée, de même que les dimensions et l'efficacité de la batterie, ces données suffisant à quiconque voulait répéter l'expérience. L'insuffisance des appareils de mesures et de leurs accessoires ne s'opposa pas toutefois à de rapides progrès, tout au moins pour des expériences simples et n'exigeant pas une grande exactitude. Mais lorsque des mesures quantitatives précises devinrent nécessaires, FARADAY mit rapidement au point les méthodes qui convenaient.

Dans ses expériences sur l'électrolyse, il perfectionna le voltamètre à eau pour mesurer exactement la quantité d'électricité passant dans un circuit ; dans ses recherches sur le magnétisme, il utilisa un type sensible de balance de torsion qui a été très employé par d'autres travailleurs.

En lisant, dans les œuvres de FARADAY, la description logique et méthodique des expériences qui le conduisirent à la découverte de l'induction électro-magnétique, plus d'un a dû se demander dans quelles conditions cette découverte avait d'abord été faite. J'ai eu le privilège de lire les bonnes feuilles du Livre de notes de FARADAY, que la *Royal Institution* va publier à l'occasion du centenaire. Ce livre contient des documents du plus haut intérêt, non seulement

Aug 29th 1831.

1 Expts. on the production of Electricity from Magnetism, etc. etc.

2 Have had an iron ring made (soft iron), iron round and 7/8 inches thick and ring 6 inches in external diameter. Wound many coils of copper wire round one half, the coils being separated by twine and calico — there were 3 lengths of wire each about 24 feet long and they could be connected as one length or used as separate lengths. By trial with a trough each was insulated from the other. Will call this side of the ring A. On the other side but separated by an interval was wound wire in two pieces together amounting to about 60 feet in length, the direction being as with the former coils; this side call B.

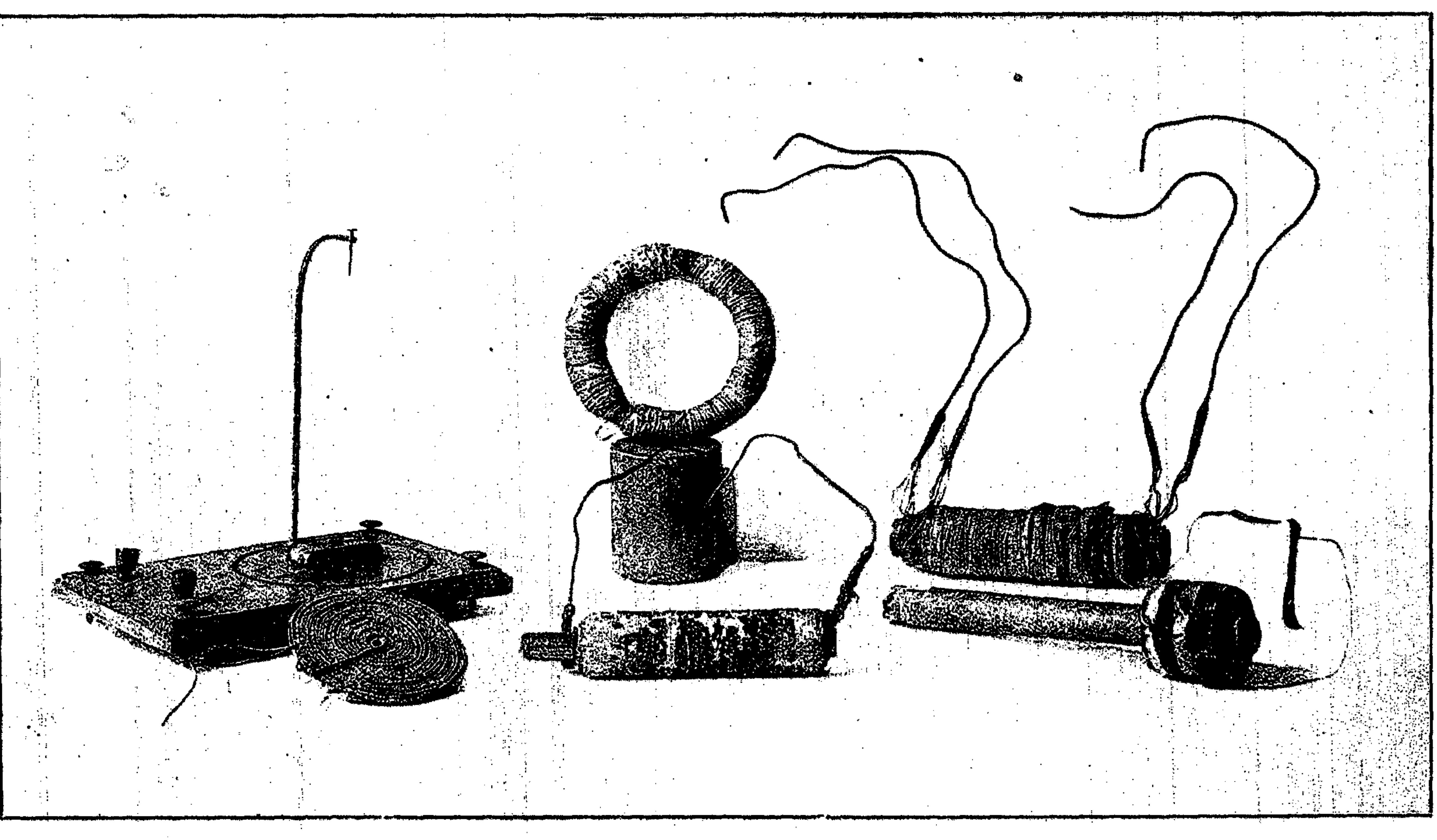
3 Charged a battery of 10 pr. plates 4 inches square. Made the coil on B side one coil and connected its extremities by a copper wire passing to a distance and just over a magnetic needle (3 feet from iron ring). Then connected the ends of one of the pieces on A side with battery; immediately a sensible effect on needle. It oscillated and settled at last in original position. On breaking connection of A side with Battery again a disturbance of the needle.

4 Made all the wires on A side one coil and sent current from battery through the whole. Effect on needle much stronger than before.

5 The effect on the needle then but a very small part of that which the wire communicating directly with the battery could produce.

Page du Journal de Faraday datée du 29 août 1831.

Photographie reproduite avec l'autorisation de la Royal Institution.



Appareils employés par Faraday pour ses expériences sur l'induction magnétique.

Photographie reproduite avec l'autorisation de la Royal Institution.

pour un historien de la science, mais aussi pour tous ceux qui désirent se former une idée des méthodes de travail intellectuel d'un grand pionnier scientifique.

On se rend compte ainsi de la somme de travaux difficiles et de patientes recherches qui s'imposent à qui veut établir un seul fait nouveau et le mettre à sa juste place dans la série de nos connaissances.

D'autres collaborateurs à la présente brochure se sont référés aux notes inscrites sur le Journal de Faraday à la date du 29 août 1831 ; je me bornerai donc à faire ressortir que, pour le choix des meilleurs dispositifs expérimentaux, Faraday fait preuve du remarquable sens physique si caractéristique chez lui.

Par intuition, il avait reconnu que ses chances de réussite seraient plus grandes si l'effet magnétique du courant était augmenté par l'emploi d'un anneau de fer ; comme nous le voyons dans ses notes, sa toute première expérience lui donna un résultat positif dans des conditions idéalement simples : un fil connecté au secondaire était tendu au-dessus de l'aiguille d'une boussole.

Dans la note où il rendit compte de sa découverte à la *Royal Institution*, l'ordre des expériences est entièrement changé.

Il considérait évidemment comme désirable d'exposer le sujet dans un ordre logique ; aussi parle-t-il d'abord de l'induction de courants électriques par l'emploi de bobines dans l'air, puis de l'effet des aimants et il termine en décrivant ses expériences avec l'anneau de fer.

Cette manière de présenter les faits scientifiques était très usitée à cette époque et c'est seulement dans des cas exceptionnels que l'on trouve des allusions à la succession réelle des expériences ayant amené une découverte.

C'est notamment le cas de la célèbre communication où Ampère posa les fondements de l'électrodynamique. L'espace me manque pour retracer la série magistrale des expériences par lesquelles Faraday établit de son côté, une fois pour toutes, les principes de l'induction électro-magnétique.

Il voit, mentalement, l'espace rempli de lignes de forces magnétiques dues au magnétisme terrestre. Il montre que des courants induits sont produits par le déplacement de bobines dans le champ terrestre ; il fait des expériences au pont de Waterloo pour déceler les courants dus à l'écoulement de l'eau ; il reconnaît que celui-ci équivaut au mouvement d'un conducteur au travers des lignes de forces

terrestres. Dans des articles postérieurs, il remarque que le courant induit dans les bobines par leur déplacement dans le champ terrestre, peut être utilisé pour déterminer la direction et la grandeur de ce champ et il est intéressant de noter que l'appareil réalisé, dans ce but, par Sir ARTHUR SCHUSTER et Sir FRANCK SMITH, est maintenant d'un emploi constant dans notre pays et s'est révélé comme constituant, à cette fin, la méthode la plus exacte et la plus sûre.

Après une série d'expériences destinées à démontrer que l'électricité produite par des moyens divers était toujours identique à elle-même, FARADAY considère les différences marquées existant entre les propriétés des divers corps pour la conduction de l'électricité.

Ceci l'amène à un examen détaillé de la nature du passage de l'électricité dans les corps où il s'accompagne de décomposition chimique, c'est-à-dire dans les électrolytes, comme il les nomme.

Dans ces recherches sur les phénomènes d'électrolyse, nous voyons FARADAY en possession de son maximum de puissance d'expérimentateur. Il étudie, avec grand soin, le passage de l'électricité à travers un grand nombre de corps liquides et solides et à travers ceux qui ne deviennent conducteurs que sous l'influence de la chaleur ; il enregistre minutieusement les phénomènes observés.

La somme de travail qu'il s'imposait était énorme, mais il avait toujours en vue un but bien défini.

Il devait, avant tout, dissiper un grand nombre de conceptions fausses et de théories erronées sur la nature de la décomposition électrolytique.

Il montra, en particulier, par une brillante expérience, que les actions électriques déterminant la décomposition chimique ne sont pas localisées, comme on le croyait alors, aux pôles ou électrodes, mais s'étendent au volume entier de l'électrolyte.

Il passe alors aux expériences qui l'ont conduit à formuler ses fameuses lois de l'électrolyse ; celles-ci ont résisté à l'épreuve du temps et ont constitué la base de recherches presque innombrables exécutées par les travailleurs successifs.

Pour obtenir des résultats quantitatifs, FARADAY construit le voltamètre à eau et démontre qu'il fournit une mesure définie de la quantité d'électricité passant dans un circuit.

En possession de cet instrument de mesure, il démontre que les poids relatifs des éléments décomposés sont définis et proportionnels à leurs équivalents électro-chimiques, ce qu'il exprime souvent en disant qu'ils sont proportionnels à leurs poids atomiques. Il a montré

ainsi, pour la première fois, l'existence d'une relation remarquablement simple entre l'électricité et la matière et, à la lumière de nos connaissances actuelles, nous le voyons tout près de faire une découverte d'une importance plus fondamentale encore, celle de la nature atomique de l'électricité. Nous devons cependant nous souvenir qu'à cette époque la théorie atomique de DALTON était encore récente et que les poids atomiques relatifs d'un grand nombre d'éléments n'étaient pas exactement connus.

Comme nous allons le voir, FARADAY reconnaît l'importance de sa découverte, mais il hésite à en interpréter les résultats dans le langage de la théorie atomique. Par la suite, il ne fait plus allusion à la question et il était réservé à feu le Dr JOHNSTONE STONEY, près de 50 ans plus tard, de défendre hardiment la conception de la nature atomique de l'électricité, basée sur les équivalents électrochimiques des éléments.

Je citerai, pour illustrer l'attitude mentale de FARADAY devant les questions importantes, les remarques par lesquelles il conclut ses splendides travaux sur ce sujet :

« Très grande est l'harmonie, que cette théorie de l'évolution définie et de l'action définie équivalente de l'électricité introduit dans les théories associées des proportions définies et de l'affinité électrochimique ».

« Suivant cette théorie, les poids équivalents des corps sont simplement les quantités de chacun d'eux qui contiennent des quantités égales d'électricité, ou qui ont naturellement des pouvoirs électriques égaux; c'est donc l'électricité qui détermine le nombre équivalent, parce qu'elle détermine la force de combinaison. Ou, pour adopter la théorie ou la phraséologie atomique, les atomes des corps équivalents les uns aux autres dans leurs actions chimiques ordinaires, sont associés par la nature à des quantités d'électricité égales ».

« Mais je dois avouer que je me méfie du terme d'atome, car bien qu'il soit très facile de parler d'atomes, il est très difficile de se faire une idée claire de leur nature, spécialement lorsqu'il s'agit de corps composés. »

Il n'est pas possible, dans cet article sommaire, de passer en revue tous les sujets des nombreuses recherches entreprises par FARADAY, entre autres l'étude détaillée de la distribution de l'électricité à la surface des corps, comprenant les fameuses expériences du seau à glace et de la cage de fils, ses études sur la capacité inductive spécifique des isolants et ses longues séries de travaux sur les substances paramagné-

tiques et diamagnétiques. Ses expériences sur le magnétisme, entreprises dans la dernière partie de sa vie, ne révèlent aucun déclin de sa puissance ni de son habileté d'expérimentateur, ni de la patience et de l'énergie avec lesquelles il explorait toute voie lui donnant un espoir de réussite dans l'attaque d'un problème.

Je n'ai pas fait allusion ici à un grand nombre de ses notes intéressantes sur diverses questions de physique et de chimie ; telles ses expériences bien connues sur la liquéfaction des gaz, sa découverte du benzol, qui constituait une conquête de grande importance pour la chimie et pour l'industrie chimique.

Si nous considérons la variété et la valeur des contributions qu'il a apportées à la science et des résultats qu'il a publiés sur tant d'expériences individuelles qui s'y rattachaient, nous ne pouvons manquer d'être impressionnés, non seulement par son extraordinaire industriosité et par son habileté expérimentale, mais aussi par son inépuisable originalité d'esprit dans la création de nouvelles méthodes d'attaque.

Comme nous le voyons clairement dans ses livres de notes, il préparait soigneusement son travail quotidien et il mentionnait parfois les espoirs qu'il nourrissait pour les jours suivants.

Quand le résultat d'une expérience bien combinée lui a montré l'exactitude d'une idée, il enregistre parfois sa satisfaction en ajoutant, à la fin de la description, le mot « excellent ».

Au début d'une note célèbre enregistrant la découverte d'une nouvelle relation entre l'électricité et la lumière, (je fais allusion ici à la rotation, dans certains corps, du plan de polarisation de la lumière sous l'action d'un champ magnétique), il fait cette déclaration souvent citée :

« J'ai depuis longtemps l'opinion, qui est presque devenue une conviction, chez moi et aussi, je crois, chez beaucoup d'autres adeptes des sciences naturelles, que les diverses formes sous lesquelles se manifestent les forces matérielles ont une origine commune ; ou, en d'autres termes, qu'elles sont si directement liées et dépendantes, qu'elles peuvent être transformées l'une dans l'autre en conservant, dans leur action, une puissance équivalente ».

Une vue d'ensemble des recherches de FARADAY nous montre que l'idée fondamentale de l'unité de toutes les forces de la nature était la source de ses principales recherches et cela dès le début de sa carrière scientifique.

Cette conviction nous donne, ce n'est pas trop dire, la clé du succès extraordinaire qu'il remporta dans l'accroissement de nos connaissances.

Beaucoup d'exemples pourraient appuyer cette opinion. On voit, d'après le début de la note de son Journal où il décrit la découverte de l'induction électro-magnétique, qu'il entreprit cette recherche avec l'idée de trouver une nouvelle relation entre l'électricité et le magnétisme. Dans ses recherches sur l'électrolyse, il étudie le rapport entre l'électricité et les actions chimiques.

Dans son article sur les rotations magnétiques, il annonce une nouvelle relation importante entre le magnétisme et la lumière. De même, il espérait trouver un rapport entre l'électricité et la gravitation et il exécuta, dans ce but, mais sans succès, un grand nombre d'expériences.

La dernière expérience de sa vie, en 1862, avait pour but de trouver encore une autre relation entre le magnétisme et la lumière, en étudiant l'effet d'un champ magnétique sur le spectre d'une source lumineuse. Les dispositifs expérimentaux qu'il imagina étaient à tous égards admirablement appropriés au but poursuivi et si le pouvoir de dispersion du spectroscope n'eût été à cette époque insuffisant pour mettre en évidence un phénomène aussi ténu, FARADAY aurait certainement enrichi la science de la découverte d'une nouvelle liaison de première importance entre le magnétisme et la lumière.

Trente ans plus tard, le Professeur ZEEMAN, grâce à un dispositif semblable à celui de FARADAY, mais avec des méthodes optiques plus sensibles, réussit à démontrer clairement l'effet d'un champ magnétique sur le spectre d'une source lumineuse et établit ainsi une nouvelle et féconde méthode d'investigation sur la constitution des atomes.

Plus nous étudions l'œuvre de FARADAY dans le recul du temps, plus nous sommes frappés de son génie sans rival d'expérimentateur et de savant.

Quand nous considérons la grandeur et l'étendue de ses découvertes, leur influence sur le progrès de la science et de l'industrie, nous reconnaissons que nous ne pouvons accorder de trop grand honneur à la mémoire de FARADAY, qui fut l'un des auteurs des plus grandes découvertes scientifiques de tous les temps.

LE SUCCÈS APRÈS L'ÉCHEC

MAGNÉTISME ET ÉLECTRICITÉ

La Grande Découverte

par Sir William BRAGG O. M., F. R. S.

Ses expériences du 29 août 1831 donnèrent à FARADAY la première vision du grand principe de l'induction électromagnétique. Au cours des quelques années suivantes, pleines de méditations intenses et d'ardentes recherches, il arriva à saisir clairement, non seulement ce principe, mais deux autres d'importance aussi fondamentale.

Lorsque le mathématicien CLERK MAXWELL, ayant compris la portée des expériences de FARADAY et de leur interprétation, y ajouta un quatrième principe, mis d'abord en lumière, en 1820, par OERSTED de Copenhague, il fut à même d'établir, sur ces quatre bases, la théorie mathématique de l'électro-magnétisme.

Sur cette théorie, il basa l'hypothèse que la lumière pouvait être représentée par une onde électro-magnétique dans un éther continu.

En même temps, il rendit possible le calcul des influences mutuelles de l'électricité et du magnétisme, aussi bien dans le vaste champ des théories modernes que dans les travaux de l'ingénieur électricien.

Ainsi, l'aspect du monde moderne, dans le domaine de la pensée comme dans celui de la pratique, est sorti d'une série de découvertes auxquelles FARADAY prit la plus grande part et dont l'expérience du 29 août 1831 constitue le principe et le centre.

Il est intéressant de considérer les degrés successifs qui ont abouti aux événements de cette journée.

La pile électrique de VOLTA était un assemblage de feuilles de cuivre, de zinc et de drap humide empilées régulièrement, forme primitive de la batterie électrique moderne.

Quand des fils étaient attachés aux plaques terminales de la pile, soit respectivement à un cuivre et à un zinc, les autres extrémités des

fils, placées aux points convenables, produisaient un mouvement convulsif des nerfs et des muscles vivants ; les pattes d'une grenouille constituaient ordinairement le sujet de l'expérience.

C'était en fait, une décharge électrique.

En 1820, le danois OERSTED fit une surprenante découverte.

La pile de VOLTA avait été transformée, à cette époque, de manière à ressembler davantage à nos batteries électriques actuelles. Une paire de plaques, zinc et cuivre, placée dans une cuve contenant de l'acide dilué, constituait la cellule unitaire ; un certain nombre de ces cellules, montées en série, formait une batterie beaucoup plus efficace et d'un emploi plus facile que la pile de feuilles et de draps mouillés.

OERSTED reconnut qu'un fil, réunissant les deux extrémités d'une telle batterie, agissait sur une aiguille aimantée.

Si le fil était placé parallèlement à l'aiguille et aussi près que possible, soit au-dessus, soit au-dessous, l'aiguille tournait pour s'orienter, non plus parallèlement, mais obliquement au fil.

Si l'on inversait les connexions du fil à la batterie, l'extrémité d'abord reliée au dernier cuivre étant réunie au dernier zinc à l'autre bout de la batterie et vice-versa, toutes les autres conditions de l'expérience restant les mêmes, l'aiguille tournait jusqu'à prendre la même inclinaison, mais de l'autre côté du fil.

Tant que la batterie débitait, la déviation de l'aiguille persistait.

Si l'on admet que la connexion permanente du fil aux deux extrémités de la batterie fait passer une décharge continue d'électricité dans le fil, on pouvait en conclure qu'un courant électrique dévie un aimant.

Les expériences d'OERSTED furent répétées à Genève par DE LA RIVE ; à l'automne de 1820, ARAGO les décrivit devant l'Académie française des Sciences. AMPÈRE poussa la découverte plus loin dans le même ordre d'idées en montrant que deux fils parcourus par des courants électriques agissaient l'un sur l'autre.

ARAGO et DAVY montrèrent, indépendamment l'un de l'autre, qu'un fil conduisant un courant électrique, aimante l'acier et le fer.

Tous ces phénomènes constituaient des variantes du grand principe qu'OERSTED n'avait pas su dégager, c'est-à-dire qu'un courant électrique possède des propriétés magnétiques, en d'autres termes, qu'il est équivalent à un aimant.

AMPÈRE remarqua que la valeur de la déviation d'un aimant pouvait être utilisée pour mesurer l'intensité du courant qui la produisait et il proposa, le premier, le nom de galvanomètre ; il suggéra

aussi l'idée que les propriétés d'un aimant pouvaient être attribuées à l'existence de courants électriques circulant continuellement dans de très petits conduits à l'intérieur des atomes du fer.

En 1821, FARADAY montra qu'un fil parcouru par un courant électrique pouvait être disposé de manière à tourner continuellement autour d'un pôle magnétique et vice versa.

Il est assez difficile de donner, sans figures, une description claire de tous ces phénomènes et de ces dispositifs, mais le seul point qu'il faille retenir est que, en 1820, le premier des quatre grands principes avait été établi : un courant électrique produit un effet magnétique.

Ceci conduisit naturellement à rechercher une action réciproque. Un aimant ne doit-il pas produire un effet électrique ? Si un courant électrique peut créer un aimant là où il n'y en avait pas auparavant, ne doit-on pas s'attendre à ce qu'un aimant fasse naître un courant électrique ?

La réciprocité pourrait être encore envisagée sous une forme un peu différente, mais de signification équivalente. Un aimant peut induire du magnétisme dans un morceau de fer, du simple fait de sa proximité ; puisque les courants électriques se comportent comme des aimants, un fil que parcourt un courant ne doit-il pas aussi faire passer, grâce à une proximité du même ordre, un courant dans un fil voisin ?

Le Journal de FARADAY donne le compte rendu suivant de ses reches sur ce phénomène.

« 28 *novembre* 1825. — Expériences sur l'induction, en connectant les fils de la batterie voltaïque. Une batterie de 4 piles de 10 paires de plaques chacune, placées côte à côte.

1° *Expérience.* — Les pôles sont reliés par un fil d'environ 1,20 m de long. Un autre fil semblable, placé parallèlement au premier, n'en est séparé que par deux épaisseurs de papier. Les extrémités du second fils sont reliées à un galvanomètre. Aucune action ne se manifeste.

2° *Expérience.* — Pôles de la batterie reliés par une hélice recouverte de soie. Un fil droit traverse cette hélice, ses deux extrémités étant reliées au galvanomètre. Aucune action.

3° *Expérience.* — Les pôles de la batterie sont reliés par un fil droit au-dessus duquel est placée une hélice dont les extrémités sont reliées au galvanomètre. Aucune action.

Impossible, par n'importe quel moyen, de faire apparaître une induction produite par le fil de connexion. »

Il est à peine nécessaire de dire que FARADAY n'envisageait pas comme il convenait le phénomène qu'il devait découvrir plus tard.

Il s'attendait à ce qu'un courant passât dans un des fils au simple voisinage d'un courant traversant l'autre. En réalité, l'expérience qu'il décrit lui aurait montré ce qu'il cherchait, si son galvanomètre avait été assez sensible et s'il ne s'était pas attendu à constater le passage continu d'un courant. Dans ces conditions il était naturel qu'il échouât.

La journée historique.

Le 29 août 1831, il reprit sa recherche, mais cette fois avec un nouveau dispositif expérimental. Il réalisa ce que nous appelons maintenant un transformateur fermé. Il enroula séparément sur un anneau de fer deux bobines de fil. Le fer, qui formait ainsi le noyau commun des deux bobines, était le trait essentiel de l'expérience; ceci devait forcément, nous le savons maintenant, lui donner le renseignement qu'il cherchait. Mais ce qu'il savait à cette époque ne pouvait l'en assurer; du moins, s'il avait des raisons de pouvoir compter sur un résultat qu'il n'avait pu obtenir dans ses essais antérieurs, il ne nous les fait pas connaître.

« Il établit une batterie de 10 paires de plaques de 20 cm^2; il réunit les extrémités de l'une des bobines par un fil de cuivre passant à une certaine distance et juste au-dessus d'une aiguille aimantée placée à 1 mètre de l'anneau de fer. Il relia ensuite les extrémités de l'autre bobine à la batterie et il observa immédiatement un effet sensible sur l'aiguille. Elle oscilla, puis revint finalement à sa position première.

En rompant la connexion de la batterie, nouveau déplacement de l'aiguille. Donc, action, mais passagère. »

Il avait ainsi découvert ce qu'il savait devoir sûrement exister sous une forme ou sous une autre, l'action réciproque entre l'électricité et le magnétisme. Oersted avait montré qu'un courant électrique pouvait produire du magnétisme. Faraday démontrait maintenant qu'une action magnétique pouvait produire un courant électrique.

Dans son essai antérieur, décrit ci-dessus, il cherchait à produire un courant dans un fil placé simplement au voisinage d'un autre fil parcouru par un courant ou, ce qui revient au même, au voisinage d'un aimant immobile. Rien de pareil ne s'était produit.

Que venait-il de trouver ? Quand il envoyait le courant de la batterie dans une des bobines entourant l'anneau, il aimantait l'anneau, conformément au principe d'Oersted.

L'anneau aimanté traversait la seconde bobine, connectée au fil passant près de l'aiguille.

Pendant que cette aimantation se produisait, mais seulement alors, et non pas lorsqu'elle était devenue complète, un courant était engendré dans la 2e bobine. Ce n'était pas le magnétisme lui-même, mais sa variation, qui donnait la réciprocité cherchée.

De même, lorsqu'on rompait le circuit de la batterie et que l'aimantation disparaissait de nouveau, ce changement produisait aussi son effet. Un courant passait encore dans le second fil, mais en sens inverse.

Bien que, par ce travail d'une seule journée, un principe fondamental eût été découvert et exactement décrit, de longues séries d'expériences furent nécessaires pour en établir toute la portée.

On peut dire, en somme et en termes généraux, qu'une variation de magnétisme tend à mettre l'électricité en mouvement.

La première expérience de FARADAY était un cas particulier. La production de courant électrique par le déplacement relatif des aimants et des bobines d'une dynamo en est un autre.

Un résultat inattendu

On remarquera que l'action réciproque découverte par FARADAY entre l'électricité et le magnétisme, n'était pas du genre de celle qu'il attendait.

L'idée s'était répandue qu'un aimant placé près d'un fil devait y engendrer de l'électricité, puisqu'un fil parcouru par un courant électrique et placé près d'un morceau de fer y engendrait du magnétisme.

La véritable réciprocité consiste en ceci, que le mouvement de l'électricité (c'est-à-dire le courant électrique) détermine un phénomène magnétique et que le magnétisme en mouvement détermine un phénomène électrique.

Le mouvement est essentiel dans les deux cas. Un mouvement relatif est seul nécessaire ; un aimant peut être déplacé par rapport à un conducteur immobile, ou un conducteur peut être déplacé par rapport à un aimant immobile. Dans les deux cas, le résultat est une tendance au déplacement de l'électricité dans le conducteur.

Il n'est pas aisé de réaliser, à première vue, toute l'importance de ces expériences que FARADAY exécuta avec ses bouts de fils de fer et ses archaïques batteries,

Il faut se rappeler que le rôle de l'interaction de l'électricité et du magnétisme est, dans l'univers, fondamental. Elle se manifeste sous forme très directe dans la lumière, la chaleur, les radiations de toutes sortes. Sous une autre forme, elle apparaît comme une force chimique, régissant les phénomènes matériels de la nature animée et inanimée.

Les propriétés physiques des corps en dépendent. Guidés par sa compréhension correcte, le savant poursuit sa route dans les étranges régions de la pensée physique moderne et l'ingénieur électricien élève ses constructions multiformes.

Il ne reste plus qu'à mentionner brièvement les deux autres principes que Faraday a découverts et décrits.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, un aimant en mouvement tend à déplacer l'électricité dans son voisinage, mais il ne crée qu'une tendance.

Le résultat de cette tendance au déplacement dépend des circonstances. Quelques corps, dits conducteurs, laissent passer l'électricité d'une manière continue, suivant une règle clairement énoncée par Ohm.

Mais, en dehors de cet effet particulier, il existe une loi plus générale reliant la cause à l'effet et applicable à tous les corps; cette loi, Faraday l'a étudiée et énoncée. Un phénomène parallèle se présente, comme Faraday l'a remarqué, dans le cas du magnétisme.

Le magnétisme engendré, dans un espace quelconque, par un courant électrique, dépend de la matière qui occupe cet espace, fer, nickel, bois, ou toute autre substance.

En résumé, il existe, en tout cas, quatre grands principes de l'électro-magnétisme ; Clerk Maxwell les a formulés en écrivant ses quatre célèbres équations mathématiques.

UNE INTELLIGENCE DE MÊME NATURE AUX ÉTATS-UNIS

LES EXPLOITS DE JOSEPH HENRY

La Smithsonian Institution

par le Professeur W.F. MAGIE

JOSEPH HENRY était un physicien américain dont la vie fut, à beaucoup d'égards, semblable à celle de FARADAY; leurs œuvres scientifiques présentent de nombreux points de contact.

Il était né à Albany, New-York, le 17 décembre 1797 ; son père était journalier ; sa famille appartenait à un très humble milieu.

Comme FARADAY, il fit de l'apprentissage commercial, dans l'espèce chez un horloger bijoutier. Il avait peu de goût pour ce genre de travail et il avait coutume de dire qu'on le considérait comme trop borné pour apprendre le commerce.

De même que l'attention de FARADAY fut attirée vers les sciences expérimentales par la lecture des « Conversations on chemistry » de Mme MARCET, l'intérêt de HENRY fut éveillé par les conférences du Dr GREGORY sur « experimental philosophy, astronomy and chemistry ».

Il n'avait reçu d'autre instruction que celle donnée dans les écoles rurales à cette époque.

Au prix d'un travail opiniâtre et d'une grande abnégation, il réussit à se préparer, en une année ou deux, à l'admission dans une classe supérieure de l'*Académie d'Albany*, qui jouissait alors d'une grande réputation et où il paraît avoir fait preuve d'un très vif intérêt pour la science.

Il y remplissait, tout en étant encore étudiant, les fonctions de préparateur du cours de chimie, ce qui lui permettait de compléter sa formation sans être troublé par la nécessité de s'assurer autrement des ressources.

Ses études terminées, il passa deux ans comme précepteur privé dans

une riche famille, employant ses moments de liberté à étudier la chimie et la physiologie en vue de faire ses études de médecine. Il fit aussi des mathématiques.

A l'automne de 1826, il fut élu à la chaire de mathématiques et de sciences naturelle de l'*Académie d'Albany*.

Si l'on considère les conditions d'existence d'HENRY, à cette époque, on est étonné de tout ce qu'il a pu faire. Il enseignait 7 heures par jour et son seul temps vraiment libre était celui des vacances d'été.

Il n'avait à sa disposition ni laboratoire, ni instruments scientifiques convenables. Il devait construire ses appareils lui-même avec des matériaux qu'il achetait ; il était très isolé.

Il n'y eut rien dans sa vie de comparable aux occasions favorables dont bénéficia FARADAY par son association intime avec Sir HUMPHRY DAVY et avec les autres savants distingués qui fréquentaient la *Royal Institution*.

Malgré ces conditions défavorables, il entreprit, dès qu'il eut pris possession de sa nouvelle situation, des recherches dans le domaine relativement nouveau de l'électromagnétisme.

Il se rendit compte, tout d'abord, qu'il pouvait, en isolant les fils nus employés dans la construction des appareils destinés à montrer l'action mutuelle des courants électriques, les enrouler en bobines ; l'effet magnétique obtenu ainsi était augmenté sans avoir recours à de grandes et coûteuses batteries voltaïques.

Sa première note sur ce sujet, présentée à l'*Albany Institute* relate les résultats obtenus par ce perfectionnement. Cette méthode lui permettait désormais de mettre en évidence tous les effets électromagnétiques en n'employant qu'une seule pile voltaïque.

Batteries et aimants.

Il reconnut ensuite que l'emploi de semblables fils isolés permettait d'améliorer la construction des électro-aimants.

L'aimant de STURGEON, généralement employé alors, était constitué d'une barre de fer pliée en forme de fer à cheval et enduite de cire à cacheter ; on y enroulait une spirale lâche de quelques mètres de fil de cuivre nu.

L'emploi de fil isolé permit à HENRY de rapprocher les spires jusqu'au contact et de les enrouler les unes sur les autres en plusieurs couches.

Il constata que, ainsi construits, ses aimants étaient beaucoup plus

puissants que tous ceux dont il avait eu connaissance. Il exposa, à l'*Albany Institute*, en 1828, le premier appareil exécuté sur ce modèle.

Dans la suite, il en fit d'autres et de plus puissants. Le plus grand de tous, qu'il construisit après son installation à Princeton, portait un poids de 1,8 kg.

Henry commença de bonne heure des recherches sur la transmission de l'action magnétique à travers un long circuit ; il reconnut que, pour y arriver, il était nécessaire de monter en série un certain nombre de piles et que l'électro-aimant qui agissait le mieux était muni d'un long fil enroulé en un grand nombre de tours. Il appela cette batterie, « batterie d'intensité » et l'aimant, « aimant d'intensité ».

Il donna, à une autre forme d'aimant dans laquelle un certain nombre de bobines étaient enroulées en parallèle autour du noyau de fer, le nom d' « aimant de quantité ».

Il étudia les caractéristiques de ces aimants, sur un aimant constitué de plusieurs bobines dont les extrémités étaient dégagées, de manière à pouvoir être connectées de diverses manières. Les électro-aimants de Henry étaient de beaucoup supérieurs à ceux que construisait, à peu près à la même époque, Moll d'Utrecht.

Tout en travaillant à la construction de ces aimants, Henry se préoccupait de la production de l'électricité par le magnétisme. Il avait paru à beaucoup de gens que, si l'on pouvait produire le magnétisme par l'électricité, il devait être possible d'obtenir, d'une manière ou de l'autre, l'action inverse. Au mois d'août 1831, il construisait, en vue de ces expériences, un grand électro-aimant et une grande bobine de fil isolé.

Lorsque l'école se rouvrit à l'automne, il laissa de côté son travail pour se consacrer à ses devoirs de professeur et il paraît ne plus s'être occupé de la question jusqu'en juin de l'année suivante ; il lut alors, dans les « Annals of Philosophy » un bref compte rendu d'une communication faite par Faraday à la *Royal Institution* où celui-ci relatait les traits essentiels de sa découverte sur le courant induit. Il reprit alors la question et publia, en juillet 1832, une note décrivant une expérience où il avait produit du courant induit ; il ajoutait que cette expérience avait été faite avant qu'il n'ait eu aucune connaissance du dispositif de Faraday.

Dans celui d'Henry, une bobine de fil isolé était enroulée en spires serrées autour de l'armature de l'aimant. Cette armature était placée et solidement fixée contre l'aimant. Les extrémités de la bobine étaient

réunies à deux longs fils reliés à un galvanomètre. Quand on enfonçait les plaques de la batterie actionnant l'aimant, l'aiguille du galvanomètre était projetée, momentanément, dans un certain sens. Quand on relevait les plaques, l'aiguille se déplaçait dans le sens opposé. On ignore à quelle date cette expérience fut tentée pour la première fois. Il semble probable que ce fut dès l'été de 1831 et peut-être dès 1830.

Miss Mary A. Henry dit que son père exprimait souvent devant sa famille le regret d'avoir remis si longtemps la publication de sa découverte et elle cite la déclaration suivante d'un ami de son père :

« Votre père m'a souvent parlé de son désappointement à propos de cette découverte. » « J'aurais dû la publier plus tôt », avait-il coutume de dire, « mais j'avais si peu de temps. Il était si difficile d'aboutir ! Je désirais présenter sous une forme satisfaisante les résultats que j'avais obtenus et comment aurais-je pu savoir qu'un autre, de l'autre côté de l'Atlantique, s'occupait de la même question ».

Henry n'a jamais rien publié au sujet de la découverte du courant induit, dans le but d'en réclamer la priorité. Il a toujours attribué celle-ci à Faraday. Cependant, d'après les témoignages ci-dessus, il paraît probable qu'il fut bien le premier à faire la découverte et que c'est seulement son désir de perfectionner son œuvre avant de la publier qui l'a privé de s'en voir attribuer l'honneur.

Dans la même note où il présentait son travail, Henry décrivait une expérience montrant que, lorsque les pôles d'une pile voltaïque étaient réunis par un fil court, aucune étincelle n'apparaissait, soit quand on établissait le circuit, soit quand on le rompait ; mais, lorsque les pôles étaient réunis par un fil de grande longueur et, en particulier, si ce fil était enroulé en spirale sur lui-même, alors que, à l'établissement du circuit on faisait la même constatation que dans le premier cas, une étincelle brillante se produisait lorsqu'on rompait le circuit.

Henry attribuait ce résultat à la production d'un courant induit dans le circuit lors de la disparition du courant même qui le parcourait et il se référait, dans ses explications, aux observations faites par Faraday.

A l'automne de 1832, Henry fut appelé à occuper la chaire de sciences physiques du collège de New-Jersey (actuellement *Université de Princeton*) à Princeton, New-Jersey. Son départ pour cette ville et l'obligation de consacrer à cet enseignement son temps et son intelligence dérangèrent, pour un temps, le cours de ses recherches.

En 1835, il apprit que Faraday s'occupait du phénomène de l'extra-courant. Il rassembla alors ses études sur la question et il les présenta

à la *Société Américaine des Sciences de Philadelphie*. Un extrait de sa communication fut publié de suite à la requête de ses amis, qui insistèrent pour qu'il ne laissât pas méconnaître sa priorité sur la question.

Tandis qu'il était encore à Albany, il construisit un petit modèle de moteur électro-magnétique dans lequel une barre de fer, entourée d'un fil isolé et posée horizontalement en équilibre sur deux supports verticaux, au-dessus d'un long aimant permanent, oscillait automatiquement lorsqu'on lançait alternativement en sens opposés des courants électriques dans la bobine.

Henry considérait cet instrument comme « un jouet scientifique » tout en croyant que, peut-être, dans l'avenir, il serait possible d'établir, sur un type analogue, quelque appareil susceptible d'utilisation.

Mais, considérant le prix de la batterie voltaïque nécessaire pour actionner le moteur, il conclut que celui-ci ne pouvait être d'un emploi économique.

Ce fut aussi à Albany qu'Henry installa un circuit de près de 1 600 m de fil tendu le long des murs d'une des vastes salles de l'Académie.

Ce circuit contenait l'un de ses aimants d'intensité, actionné par une batterie d'intensité et qui actionnait un aimant permanent monté sur pivot ; cet aimant frappait sur une cloche et transmettait ainsi des signaux.

Une fois installé à Princeton, Henry posa un fil entre son Laboratoire et son domicile situé à quelque distance et il compléta le circuit par la terre en utilisant pour cela deux puits.

Par ce circuit, il transmettait des signaux grâce à un dispositif semblable, en principe, à celui qu'il avait employé à Albany.

Le courant du circuit lui servait à actionner, dans son laboratoire, un électro-aimant qui soulevait un fil fourchu hors de deux coupelles de mercure, rompant ainsi le circuit du grand aimant.

Ce dispositif impliquait le principe du relais, qui fut, dans la suite, appliqué en télégraphie ; l'ensemble du système constituait un précurseur du télégraphe électromagnétique tel qu'il fut repris par Morse.

En 1837, les administrateurs du collège donnèrent à Henry un congé d'un an avec plein traitement, pour lui permettre de se rendre en Europe.

A Londres, il se lia d'une étroite amitié avec Faraday et ils eurent ensemble de fréquents entretiens.

En Angleterre et à Paris, il rencontra encore d'autres savants dis-

tingués. Il présenta deux communications à la séance de la *British Association* au mois de septembre de cette même année.

Rentré à Princeton, il reprit l'étude des courants induits.

Faraday avait abandonné la question et les autres chercheurs qui l'avaient travaillée après lui avaient étudié, nous dit Henry « l'induction par le magnétisme et le perfectionnement de la machine magnéto-électrique et, à ma connaissance, aucune tentative, en dehors de la mienne, n'a été faite pour reprendre et poursuivre la partie purement électrique de l'admirable découverte du Dr Faraday. »

Il lut sa première communication sur ce sujet général en novembre 1838.

Il confectionna, pour s'en servir dans les expériences qu'il projetait, un certain nombre de rubans de cuivre en spirales plates, isolés à la soie et aussi un jeu d'hélices de plusieurs centaines de mètres de fils de cuivre. Pour révéler la présence et la direction du courant, il employait le plus souvent ce qu'il appelait une spirale magnétisante. C'était une simple bobine de fil enroulée en spirale autour d'une paille ou d'un tube de verre mince ; il plaçait, à l'intérieur, une aiguille à coudre qui s'aimantait lorsqu'un courant parcourait la bobine.

Il utilisait aussi, dans le même but, la secousse ressentie dans les bras ou dans le corps. Quelquefois, il employait, pour révéler la présence d'un courant de quantité, un petit électro-aimant de quantité et parfois une cellule électrolytique.

Henry démontra le premier, en employant une longue hélice, que le courant de self induction qui se manifeste lors de l'ouverture du circuit, était d'une grande intensité, comme le prouvait la secousse qu'il produisait sur le corps humain.

En réalisant diverses combinaisons entre les spirales de cuivre et les hélices de fil, il montra qu'un courant de quantité dans le primaire pouvait produire, soit un courant de quantité, soit un courant d'intensité, suivant qu'on prenait pour le secondaire une autre spirale ou une hélice et, de plus, qu'un courant d'intensité pouvait produire un courant de quantité dans le secondaire.

Il chercha alors à produire des courants induits d'un ordre supérieur au premier.

Ayant réuni les extrémités du secondaire ordinaire à une autre bobine semblable placée à une petite distance, il utilisa cette partie du secondaire comme primaire pour actionner une autre bobine située au-dessus.

Il n'était nullement certain qu'un phénomène quelconque apparaîtrait dans la troisième bobine.

Il semblait possible que la croissance et la décroissance du courant secondaire se produiraient en un temps assez court pour confondre leurs effets.

Il constata cependant la production d'un courant d'intensité considérable dans la bobine tertiaire.

L'introduction d'autres bobines dans des dispositifs semblables, mais plus complexes, lui permit d'étudier des courants induits jusqu'au 5e ordre.

Il reconnut qu'ils pouvaient difficilement être révélés par les méthodes employées pour déterminer la quantité, mais que, d'ordinaire, ils aimantaient l'aiguille de la spirale magnétisante et donnaient, dans le corps humain, des secousses très perceptibles.

En réfléchissant à la courte durée du courant secondaire qui induisait les courants d'ordres supérieurs, il conçut alors l'espoir que la décharge d'une bouteille de Leyde produirait un effet semblable. Il constata qu'il en était bien ainsi, et il fut à même d'observer des courants induits déclanchés dans les bobines successives par les décharges de la bouteille.

Il fut très frappé de la distance à laquelle pouvait être transmis l'effet d'induction dû à la décharge électrique.

Dans une expérience faite à son laboratoire, la distance entre le primaire et le secondaire était de plus de 10 m et deux planchers les séparaient.

Dans une autre expérience, il déchargea une bouteille de Leyde dans le fil télégraphique qui réunissait le laboratoire à son domicile. Il reconnut que la spirale magnétisante décelait un courant induit dans un fil parallèle situé à plus de 80 m de distance.

La spirale magnétisante révélait l'existence d'un courant, même lorsque le fil secondaire présentait une coupure, ce qui démontrait que le courant n'était pas dû à une perte du primaire par la terre.

Ce dispositif était presque exactement celui de la télégraphie sans fil.

Quelques anomalies apparentes dans la direction des courants induits des divers ordres, décelées par la spirale magnétisante, conduisirent Henry à examiner de plus près la manière dont celle-ci se comportait.

Appliquant une suggestion due à Savary, il reconnut que, lorsque la bouteille se déchargeait plusieurs fois dans le même sens, à travers

la spirale, l'aiguille ne s'aimantait pas toujours dans le même sens et il en conclut que la décharge d'un conducteur électrisé n'est pas un simple passage de l'électricité dans une seule direction, mais consiste en une succession de décharges de directions opposées ; autrement dit que la décharge est très souvent oscillatoire.

Cette conclusion d'Henry fut, depuis, confirmée par les expériences de Feddersen et la théorie en a été établie par Lord Kelvin.

James Smithson, citoyen anglais, légua, par testament, une fortune de 100 000 livres aux Etats-Unis d'Amérique pour fonder à Washington, sous le nom de « *Smithsonian Institution* », un établissement destiné à accroître et à diffuser la science parmi les hommes.

Après plusieurs années de discussions, au cours desquelles furent proposés divers projets pour l'emploi de ce legs, le Congrès finit par créer, en 1846, un conseil de régence, chargé d'affecter les revenus du legs Smithson d'une manière conforme à ses clauses et sous la condition qu'un bâtiment serait élevé pour recevoir les collections scientifiques et artistiques et une bibliothèque.

Le Conseil comprit que le succès de l'*Institution* dépendrait avant tout de la personnalité qui serait choisie comme Secrétaire. Henry était au nombre des savants dont l'avis avait été demandé, au cours de la discussion, au sujet d'un emploi convenable du legs. Dès l'abord, il avait suggéré que le legs devait être administré pour le plus grand bénéfice de l'humanité entière et que, par suite, il devait être employé à accroître les connaissances générales en stimulant les recherches originales et en diffusant l'instruction par la publication de travaux originaux et de rapports sur les progrès de la science.

Non seulement la réputation scientifique d'Henry était grande, mais on connaissait son entière intégrité et son jugement sain ; après avoir beaucoup hésité à abandonner ses travaux de Princeton, il répondit à l'appel du Conseil de régence et accepta la situation de secrétaire de la *Smithsonian Institution* en décembre 1846.

L'œuvre scientifique d'Henry fut très réduite pendant les 30 dernières années de sa vie, en raison des nombreux devoirs de sa charge. Il introduisit des méthodes d'observations météorologiques en diverses régions des Etats-Unis ainsi que la transmission télégraphique de leurs résultats à Washington, où on pouvait les étudier.

Le système de prédiction du temps qui fut déduit de ces observations prit une telle importance nationale, que le gouvernement en fit bientôt rentrer le service dans ses attributions.

Henry était membre du *Conseil des Phares* et Président de son Co-

mité d'expériences. Il s'occupa aussi des signaux par temps de brouillard et de la difficulté particulière, signalée quelquefois, de les entendre en mer.

Il reconnut que toutes ses observations pouvaient être coordonnées par la théorie de Stokes, qui expliquait comment la direction suivie par une onde sonore peut être modifiée par le vent dominant.

Il avait atteint sa 80e année et il s'occupait de recherches pour le *Conseil des Phares*, lorsqu'il ressentit les premiers symptômes de néphrite. La maladie progressa rapidement et finit par l'emporter, le 13 mai 1878, à Washington.

DEUX ÉCOLES INTELLECTUELLES

MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

La théorie de Maxwell

par Sir J. J. Thomson, O. M., F. R. S.

Lorsque Maxwell, immédiatement après avoir obtenu ses grades universitaires en 1854, aborda l'étude de l'électricité, il prit la résolution de ne lire aucun travail mathématique traitant de ce sujet avant d'avoir pris connaissance des « Experimental researches » de Faraday sur l'électricité. Cette étude se présentait alors dans des conditions très anormales, car il y avait deux écoles intellectuelles : l'école mathématique regardait les forces qui s'exerçaient entre les charges électriques ou entre les pôles magnétiques, comme le résultat d'une action directe à distance ; l'espace entourant ces charges était exactement le même que tout le reste de l'espace et ne faisait intervenir que la distance. En partant de cette hypothèse, on résolvait beaucoup de problèmes particuliers et, si leurs solutions mettaient en relief la beauté et l'ingéniosité des méthodes analytiques employées, ces problèmes ne pouvaient toutefois être considérés comme présentant par eux-mêmes une importance physique fondamentale.

De l'autre école était Faraday qui, inspiré et guidé par un point de vue complètement différent avait, pendant des années, découvert coup sur coup des phénomènes entièrement nouveaux.

Pour lui, les charges ou les pôles n'étaient que les origines de faisceaux de lignes (lignes de forces), se répandant à travers l'espace environnant.

C'est à ces lignes qu'il attribuait les effets produits par les charges électriques et par les aimants ; pour lui, c'étaient elles qui avaient une réelle importance.

Il les regardait comme quelque chose de plus que des lignes géométriques. Il leur attribuait des propriétés physiques définies, celle, par exemple, d'être en état de tension et c'est cette tension qui produisait les forces entre les charges électriques ou les aimants.

Faraday ne savait rien de l'analyse mathématique ; dans les « Electrical Researches », comme dans les « Principia » de Newton, on ne trouve, du commencement à la fin, aucun symbole algébrique et pour lui l'œuvre des mathématiciens était complètement incompréhensible. Les mathématiciens, d'autre part, ne pouvaient comprendre Faraday et se montraient plutôt méprisants.

« Je déclare », écrivait Airy en 1855, « avoir peine à imaginer que quelqu'un, connaissant la concordance entre l'expérience et les calculs basés sur la théorie de l'action à distance, hésite un instant à faire choix entre cette action simple et précise, d'une part et, de l'autre, quelque chose d'aussi vague et d'aussi variable que les lignes de forces. »

Celui qui écrivit ces lignes n'a pas compris que si la théorie de l'action à distance a pu se prêter au mieux à certains types de calculs, la conception des lignes de force suggère des possibilités débordant de beaucoup le domaine de l'autre théorie.

Par exemple, elle soulève de suite la question de savoir si l'espace traversé par les lignes de force a les mêmes propriétés que le reste de l'espace. La découverte, faite par Faraday, de l'induction électromagnétique, répondait à cette question ; elle démontrait, en effet que, lorsque les lignes de force magnétique traversent une région de l'espace, un anneau de fil qui s'y déplace est le siège d'un courant électrique, tandis qu'il ne se passe rien de semblable si l'anneau se meut dans l'espace normal.

Maxwell était le type de mathématicien ayant le plus de chances de sympathiser avec la théorie de Faraday, car, au début de sa carrière, avant de prendre ses grades, il avait manifesté ses préférences pour les méthodes géométriques plutôt que pour les méthodes analytiques. Le caractère géométrique de la théorie des lignes de force devait naturellement l'attirer.

Après une année de travail, il présenta à la *Société Scientifique* de Cambridge une communication sur « les lignes de forces de Faraday », où il donnait aux idées de celui-ci une forme mathématique ; il soulignait l'analogie entre les lignes de force et « les filets d'eau » ou trajectoires des molécules dans un courant; l'intensité de la force électrique correspondant à la vitesse de l'eau.

Il montra, aussi, que dans les problèmes qui avaient été traités par les mathématiciens, la théorie des lignes de forces conduisait exactement aux mêmes résultats numériques que la théorie de l'action à distance, en sorte que la théorie de Faraday bénéficiait aussi de l'ac-

cord avec l'expérience invoqué par AIRY en faveur de l'ancienne théorie.

En accusant réception à MAXWELL d'un exemplaire de sa communication, FARADAY lui écrivait :

« Je ne dis pas que je me permets de vous remercier de ce que vous avez dit sur les « lignes de force », sachant que vous l'avez fait dans l'intérêt de la vérité scientifique; mais vous devez supposer que votre travail m'est agréable et m'encourage beaucoup dans ma manière de voir. »

« J'ai été d'abord presque effrayé de voir appliquer à la question une telle force mathématique, puis j'ai été émerveillé de constater qu'elle supportait si bien l'épreuve ».

Dans cette première communication, MAXWELL traduit la théorie de FARADAY en une langue intelligible aux mathématiciens et la rend ainsi accessible à une catégorie beaucoup plus large de lecteurs. Sa communication ne contient cependant aucun principe physique nouveau. Il n'en fut pas de même 5 ans plus tard, lors de ses communications sur les « lignes de force physiques », publiées dans le Philosophical Magazine. Il y décrit un modèle matériel de champ magnétique, destiné à montrer l'induction de courants électriques par la force magnétique. C'était une caractéristique de MAXWELL : il concevait toujours des modèles.

Personne n'a jamais apprécié plus vivement que lui l'avantage que donne, pour concentrer la pensée et infuser des idées nouvelles, la considération d'un cas concret, tel qu'un modèle remplaçant l'emploi exclusif des symboles algébriques.

Il disait en 1870, dans une adresse à la *British Association* : « Dans l'intérêt des personnes douées de différents genres d'esprit, la vérité scientifique devrait être présentée sous des formes variées et regardée comme tout aussi scientifique quand elle revêt la forme robuste et les vives couleurs d'un modèle physique que quand elle a la ténuité et la pâleur d'une expression symbolique ».

Dans son modèle, MAXWELL figure le champ magnétique par la rotation d'un certain nombre de cylindres égaux dont les axes sont parallèles à la force magnétique et dont la vitesse de rotation lui est proportionnelle.

La direction de la rotation détermine la direction de la force, en sorte que, partout où la force a la même direction, les cylindres tournent dans le même sens.

Mais une question se pose : Comment les cylindres doivent-ils être engrenés pour que ceci puisse se produire ?

S'ils l'étaient directement, les cylindres contigus tourneraient en sens opposé. Pour pouvoir admettre qu'ils tournent dans le même sens, MAXWELL supposa que chaque cylindre était séparé de son voisin par de petites billes sphériques se comportant comme des poulies folles, sans glissement sur les cylindres ; il supposait aussi que les billes correspondaient aux particules d'électricité et leur mouvement à un courant électrique.

Si les deux cylindres en contact avec l'une des billes tournent à la même vitesse, le centre de la bille reste au repos et elle tourne seulement autour de son centre. Si les deux cylindres ne tournent pas à la même vitesse, le centre de la bille se déplace dans la direction où l'entraîne le cylindre tournant le plus vite : ce qui correspond à un courant électrique.

Si, dans un champ d'abord uniforme, la vitesse de l'un des cylindres vient à varier (ce qui correspond à un changement de la force magnétique), une bille engrenant ce cylindre avec un autre ne se trouve plus entre deux cylindres d'égale vitesse et, par suite, elle se déplace (ce qui représente un courant électrique). Ainsi, le modèle reproduit l'induction d'un courant par la variation de la force magnétique.

Regardons maintenant le modèle à un autre point de vue. Supposons que les cylindres ne tournent pas et que nous appliquions aux billes une force qui les mette en mouvement; ceci mettra en rotation les cylindres qui sont en contact avec les billes, d'où production d'une force magnétique.

Dans un corps conducteur, les particules d'électricité peuvent se mouvoir sous l'action d'une force électrique constante, en sorte que cette force peut produire une force magnétique.

Dans un isolant toutefois, où nous pouvons supposer que les particules d'électricité ne peuvent passer d'une molécule à l'autre, elles prendront, à l'intérieur des molécules, une position dépendant de l'intensité de la force électrique et toute variation de cette force les fera changer de place; les billes du modèle se mettront donc en mouvement et feront tourner les cylindres, ce qui produira encore une force magnétique.

Le modèle nous suggère donc que les *changements* de la force électrique, même dans un isolant, doivent produire une force magnétique, ce qui est le trait essentiel de la théorie de MAXWELL.

C'est un bon exemple de la manière dont un modèle, établi pour représenter un phénomène, peut en suggérer un autre. La conception et le développement de l'idée suggérée par ce modèle, constituent la plus importante contribution que Maxwell ait apportée à la science électrique.

Dans sa communication sur « les lignes de force physiques », il développe, en suivant de très près son modèle, les conséquences de cette manière de voir et il donne l'essentiel de sa théorie, bien que sous une forme quelque peu approximative.

Quand, dans une communication ultérieure, il revient à son sujet, il ne parle plus du modèle qui avait rempli son rôle en lui suggérant l'existence d'un nouveau phénomène. Maintenant, il admet l'existence de ce dernier et il l'exprime par des équations mathématiques qui sont, en substance, les équations bien connues de Maxwell ; ce sont les plus importantes de la physique.

L'importance du pas franchi par Maxwell est indiquée par le fait que, d'après les vues qui prévalaient lorsqu'il fit sa publication, les ondes électriques ne pouvaient exister, tandis que, d'après sa théorie, elles accompagnent tout changement affectant les forces électriques et magnétiques.

Il est intéressant de remarquer la symétrie existant entre la loi de Faraday sur l'induction électro-magnétique et la théorie de Maxwell. Suivant la loi de Faraday, une variation de la force magnétique produit une force électrique ; d'après la théorie de Maxwell, une variation de la force électrique produit une force magnétique.

Nous passons de Faraday à Maxwell, en interchangeant les quantités électriques et magnétiques.

Prises ensemble, ces deux théories forment, pour une grande part, la base de la science électrique. L'une et l'autre sont nécessaires et, bien souvent, suffisantes, pour résoudre les problèmes posés par cette science; où l'une s'applique, l'autre s'applique aussi.

Il semblerait que la nature elle-même ait réuni, par un lien indestructible, les noms de Faraday et de Maxwell.

La considération des propriétés des lignes de forces électriques de Faraday, lorsqu'elles se déplacent, conduit de la manière la plus simple et la plus directe à la théorie de Maxwell. Quand une charge électrique se déplace, les lignes de force qui en partent se déplacent aussi, en sorte que, dans l'espace entourant la charge, les lignes de force sont en mouvement.

Nous savons d'ailleurs qu'au travers de cet espace, il existe des

forces magnétiques; en sorte que le mouvement des lignes de force électriques produit une force magnétique.

Considérons un espace dans lequel la force électrique varie : le nombre des lignes de force électriques doit y varier aussi. Ces lignes ne peuvent être toutefois, ni créées, ni détruites, de sorte que, si le nombre des lignes de force en une région vient à changer, c'est nécessairement que des lignes y ont été introduites ou en sont sorties.

Ceci implique un déplacement des lignes et, par suite, nous l'avons vu, une force magnétique; ainsi, toute variation de la force électrique doit être accompagnée d'une force magnétique et c'est la théorie de Maxwell.

Les lignes de force

Les lignes de force électrique furent introduites par Faraday pour représenter l'état d'un champ électrique dans lequel ces lignes sont au repos.

Quand elles se déplacent, elles acquièrent des propriétés nouvelles; il aurait pu arriver que si leurs propriétés, au repos, représentaient bien les phénomènes du champ électrique fixe, leurs propriétés en mouvement ne puissent nullement représenter les nouveaux phénomènes, tels que la production de forces magnétiques, l'induction électro-magnétique et autres, qui se produisent dans un champ variable.

Il semble bien évidemment résulter du caractère fondamental des lignes de force, que les propriétés qu'elles acquièrent en se déplaçant, correspondent aux phénomènes accompagnant les variations des champs électrique et magnétique.

J'estime que cette conception des lignes de force fut un des plus grands services que Faraday ait rendus à la science, qu'elle nous a fourni la méthode la plus simple, la plus efficace et la plus suggestive que nous possédions pour représenter les phénomènes qui se passent dans le champ électro-dynamique.

La conséquence la plus frappante de la théorie de Maxwell est que les variations des forces électrique et magnétique se propagent sous forme d'onde. La vitesse de propagation de ces ondes, calculée en partant de quantités purement électriques, est la même que la vitesse de la lumière.

Ceci conduisait naturellement à admettre que les ondes lumineuses sont des ondes de forces électrique et magnétique.

Faraday, il est intéressant de le noter, avait en 1846, émis l'hypothèse que la lumière pouvait être due aux oscillations des lignes de force électrique, mais il n'a pas poursuivi plus loin cette suggestion.

Pendant longtemps, la théorie de Maxwell n'a reçu qu'un faible appui et ce n'est qu'un quart de siècle après sa publication et près de 10 ans après sa mort, que l'existence des ondes électriques a été mise directement en évidence.

Pour l'étude de ces ondes au Laboratoire, deux choses sont nécessaires : un moyen de les produire et un moyen de les détecter une fois produites.

La première condition n'était pas gênante, les oscillations produites par la décharge d'un condensateur devant produire des ondes, si la théorie est exacte.

Mais la difficulté était de les détecter.

Les forces transmises par les ondes changent de sens environ un million de fois par seconde et l'effet d'une force de direction donnée est de suite détruit par une force de direction opposée qui suit immédiatement la première; la somme totale des effets produits est donc nulle.

Nous disposons maintenant d'appareils qui ne livrent passage à ces forces que dans un seul sens, en sorte que seules des forces de même signe peuvent passer.

Ce sont ces appareils qui ont rendu possible la télégraphie sans fil à longue distance, mais ils ne furent inventés que longtemps après la mort de Maxwell.

Le problème fut finalement résolu par Hertz, qui détecta les ondes au moyen de l'étincelle électrique; celle-ci, tout en exigeant pour jaillir, une force intense, ne dure qu'un temps très court, beaucoup moins de 1/1 000 000ᵉ de seconde dans des conditions favorables ; ainsi une étincelle produite par une force d'une direction donnée a fini de passer avant que la force de direction opposée soit venue interférer avec la première.

En observant la modification subie par ces étincelles quand on les déplace d'un endroit à un autre, Hertz établit l'existence des ondes électriques et montra que, comme les ondes lumineuses, elles peuvent être réfléchies, réfractées, condensées en un foyer, polarisées et interférer entre elles.

Les expériences de Hertz sont parmi les plus remarquables de l'histoire de la physique. Bien qu'il ait dû employer une méthode très difficile, il arriva, grâce à son habileté expérimentale, à son ingénio-

sité et à sa circonspection, à découvrir les ondes électriques et à vérifier, 10 ans après la mort de MAXWELL, l'exactitude de sa théorie.

La découverte des ondes électriques, conséquence de la théorie de MAXWELL a eu, comme la découverte de l'induction électromagnétique par FARADAY, une influence profonde sur notre civilisation.

Elle a étendu la portée de la parole humaine, de telle sorte que tous les habitants du monde ont été mis à une distance les uns des autres où ils peuvent s'entendre. Il est peu d'hommes dont la vie n'ait pas été affectée par les découvertes de FARADAY et de MAXWELL. Leur travail patient dans la recherche de la vérité scientifique a eu plus d'influence que les parlements ou les armées, sur le bien-être de l'humanité et sur les progrès de la civilisation.

LES SUCCESSEURS DE FARADAY

LES SAVANTS ET LEURS OEUVRES

La continuation d'une grande tradition

par le Professeur W. M. Thornton, D. Sc.

Nous constatons aujourd'hui, en lisant la littérature scientifique du début du XIXe siècle que, étant donnée la direction vers laquelle se portait, à cette époque, la pensée des chercheurs, la découverte de l'induction électromagnétique ne pouvait plus guère, sans doute, se faire longtemps attendre.

Il était juste que l'honneur en revint à Faraday, car cette découverte n'est, en elle-même, qu'une simple conséquence de ses propres travaux antérieurs, n'exigeant pour être dégagée, que la simplicité du génie. Ses idées furent développées par ses contemporains, (lui-même ne s'en étant plus guère occupé) dans deux voies distinctes, mais étroitement liées, celle de brillantes recherches physiques que les développements mathématiques accompagnaient de près et celle des applications, réalisées pas à pas par toute une lignée de penseurs originaux.

Les problèmes d'électrostatique exerçaient un attrait irrésistible sur les mathématiciens et l'étude de cette branche particulière atteignit bientôt un niveau élevé.

Poisson avait montré le chemin; William Thomson, depuis Lord Kelvin, appelé souvent le « Poisson » de l'Angleterre, bien qu'il ne fut guère alors qu'un adolescent, non seulement élargit le domaine de la science par une série de communications d'une puissante originalité; mais de plus, apercevant dès ses premières études, l'analogie des lois qui régissent les flux de chaleur et d'électricité, il posa les fondements de la théorie générale du mouvement des charges électriques.

Thomson, comme Faraday, était un homme de tempérament ardent et enthousiaste. Il fut, comme il le disait, « inoculé du feu de Faraday » par David Thomson, cousin de Faraday, de l'*Université de la Trinité* à Cambridge et qui occupa plusieurs années la chaire de

Sciences naturelles de Glasgow ; si nous nous demandons quelle est la manière dont se transmet le génie, nous constatons que ce fut, en partie, de WILLIAM THOMSON que MAXWELL reçut à son tour l'inspiration.

Lorsque les ingénieurs du premier câble transatlantique rencontrèrent certaines difficultés, THOMSON parvint à poser et à résoudre les équations de la transmission des signaux et à indiquer la voie à suivre pour traiter les problèmes pratiques qu'elle posait. C'est à lui surtout qu'est dû le succès de la télégraphie sous-marine.

De fait, il avait le génie d'apercevoir comment une relation déduite d'un raisonnement abstrait pouvait conduire à un but pratique. Bien longue est la liste de ses inventions en électricité, qui nous apparaissent comme une solution trouvée sans effort à de difficiles problèmes pratiques. Le galvanomètre de marine à miroir, le siphon enregistreur, les voltmètres électromagnétiques, les balances de courant et de tension, pour n'en mentionner que quelques-unes, témoignent de ses dons extraordinaires.

« La laborieuse humilité » de KELVIN, pour employer l'heureuse expression de Lord ROSEBERRY, est l'un des attributs d'un génie supérieur qui, « en faisant ce qu'il doit », se révèle souverain. Ce fut THOMSON qui institua, au bénéfice de ses élèves, le premier laboratoire universitaire de physique en Angleterre et ce fut seulement quand la science de l'électricité commença à recueillir les fruits de cet enseignement de laboratoire, qu'elle prit vraiment conscience d'elle-même.

En dehors de son habileté transcendante en physique mathématique, KELVIN peut être justement regardé comme le premier des grands ingénieurs électriciens. C'est en grande partie grâce à son œuvre que l'art de ces ingénieurs diffère de celui de tous leurs collègues, car il en dégagea les lois physiques systématiques longtemps avant que les praticiens aient saisi la signification des phénomènes.

Théories mathématiques.

JAMES CLERK MAXWELL était à Cambridge quelques 10 années après THOMSON et il adopta, dans une large mesure, la même brillante devise révélatrice du même sens physique : « des mathématiques, oui, mais des expériences d'abord. » Dans la préface de son grand traité de l'électricité et du magnétisme, publié en 1873, il écrivait : « J'ai décidé de ne lire aucun travail mathématique sur la question, avant

d'avoir étudié les « Experimental researches on electricity » de Faraday... ; en progressant dans l'étude de Faraday, j'ai reconnu que sa méthode de concevoir les phénomènes était aussi une méthode mathématique... enfin, j'ai trouvé que ces méthodes pouvaient être présentées sous les formes mathématiques ordinaires ».

La manière dont il y parvint constitue l'un des triomphes de la physique mathématique. Il fut amené ainsi à la théorie dynamique de l'action électrique, aboutissant, dans son fameux chapitre XX, à la théorie des radiations électriques qui, vérifiée expérimentalement par Hertz et Lodge, conduisit à son tour à l'invention de la radiotélégraphie et de la radiotéléphonie. La grande contribution de Maxwell à la science électrique fut aussi féconde dans ses effets que la découverte, par Faraday, de l'induction magnéto-électrique ; elle nécessitait, pour sa complète mise au point, la combinaison de cette dernière avec ce que Thomson appelait « la découverte de Faraday si longtemps négligée et discréditée, bien que fondamentale », de la capacité inductive spécifique ; jointe à la nature du champ électrique dans un isolant, elle constitue l'essence même de la théorie des courants de déplacement ; c'est cette conception d'après laquelle, si on établit une différence de potentiel, de champ, ou de contrainte électrique, entre deux plans opposés, séparés par un milieu isolant, il se produit un déplacement ou un mouvement du milieu, proportionnel à la différence de potentiel, déplacement dont la vitesse est précisément le courant parcourant le circuit.

Grâce à son sens physique aigü et à son habileté mathématique, Maxwell put cristalliser les conceptions de Faraday en formules de la plus large portée, et fraya le chemin aux étude modernes et plus générales encore sur les phénomènes électriques.

Tandis que Thomson et Maxwell avaient établi les théories mathématiques qui ont joué un si grand rôle dans les communications internationales sous-marines et en radio-télégraphie, James Prescott Joule avait, dans son laboratoire de Manchester, étonné le monde scientifique en démontrant que l'énergie dissipée, en frottement par exemple, avait un équivalent numériquement exact dans la chaleur produite; que la chaleur et le travail sont des formes interchangeables de l'énergie, quelles que puissent être leurs variations. Joule, qui était brasseur, avait été l'élève de John Dalton à une époque où la théorie atomique de ce dernier était généralement acceptée. Il devint en physique un expérimentateur de premier ordre, faisant preuve de beaucoup

d'intuition et de précision dans les recherches. Au début, personne ne voulut l'écouter. Ses notes furent refusées par les Sociétés scientifiques. Plusieurs années de discussions furent nécessaires pour convaincre THOMSON lui-même; mais lorsque l'exactitude de ses conclusions fut reconnue, une nouvelle lueur fut projetée sur les sciences physiques, comparable, disait THOMSON, à la loi de gravitation de NEWTON. La technique de l'ingénieur, dépassant la mécanique appliquée, pénétrait dans le large champ de la physique.

L'influence indirecte de JOULE sur l'électro-technique fut profonde. Le rendement des générateurs et des moteurs électriques se calcule sur ses conclusions. Il fit, pour les machines électriques, ce que CARNOT avait fait pour les machines à vapeur; il indiqua le rendement à en attendre dans des conditions de travail données.

JOHN WILLIAM STRUTT, troisième baron RAYLEIGH, successeur de MAXWELL dans la chaire de Physique de CAVENDISH, « Senior Wrangler and Smith's Prizeman », hérita de la tradition newtonienne en physique expérimentale et en mathématiques.

Si MAXWELL n'avait accepté l'invitation de prendre la chaire de CAVENDISH, RAYLEIGH en aurait été le premier occupant. La valeur principale de ses recherches électriques, pour les physiciens et les ingénieurs, est dans l'exactitude et le caractère fondamental de son œuvre sur les unités électriques. Le Comité de la *British Association* avait beaucoup fait en cette matière ; mais une nouvelle science venait au jour, comportant d'importantes conséquences pratiques et il était essentiel que les unités de mesure de résistance (l'ohm), de courant (l'ampère), et de tension (le volt), fussent connues au moins au millième près. RAYLEIGH exécuta sur chacune de ces unités une remarquable série de mesures, jusqu'à une précision voisine du dix millième ; les méthodes qu'il employait étaient remarquables, non seulement pour leur intérêt scientifique, mais aussi par la manière dont il les appliquait.

Le deuxième pas accompli comme conséquence des découvertes de FARADAY fut, immédiatement après, la construction de petites machines magnétos pour produire des courants électriques. FARADAY lui-même employait une machine de ce genre construite par PIXII et munie d'un commutateur en deux pièces permettant d'obtenir un courant de direction unique. De nombreuses variantes furent bientôt réalisées, mais ce ne fut qu'un quart de siècle plus tard que SIEMENS,

en inventant l'armature en forme de longue navette et l'enroulement en série, augmenta grandement la puissance pouvant être fournie par la machine.

Tandis que les applications électriques sur une large échelle se développaient très lentement, leur emploi en signalisation s'accrut rapidement.

CHARLES WHEATSTONE devint professeur de Physique expérimentale au *King's College*, à Londres, quelques années après la découverte de FARADAY. C'était un homme d'une fertilité d'invention immense, qu'avait attiré de bonne heure la possibilité de transmettre électriquement des signaux alphabétiques et c'est de ses appareils qu'est sorti le télégraphe électrique moderne.

Un an après sa nomination, il réalisa, avec COOKE, un télégraphe à cinq fils et à cinq aiguilles, puis finalement un système à un seul fil et à une seule aiguille. En même temps, MORSE introduisait son nouceau code universel et son résonateur double de courant pour signaux auditifs.

WHEATSTONE occupa, à l'époque, un rôle important dans le monde des électriciens. Ses communications à la *Royal Society*, en 1843, sont classiques. Il fit, entre autres inventions, celle du rhéostat, et travailla assidûment la question des bobines de résistance. Son nom se prononce quotidiennement toutes les fois qu'il nous faut mesurer une résistance électrique. L'introduction par lui du dispositif de CHRISTIE pour la mesure des résistances, le fameux pont de WHEATSTONE, ainsi appelé à cause de sa ressemblance, dans les premiers croquis qui en furent faits, avec les ponts de bois bien connus figurant sur les porcelaines chinoises, apporta au matériel des électriciens une des plus précieuses améliorations. WHEATSTONE peut être, avec justice, qualifié de grand ingénieur et c'était, sans aucun doute, un excellent physicien.

Parmi les nombreux physiciens qui participèrent aux premiers progrès de l'électricité, LATIMER CLARK occupe une place marquante. Les travaux qu'il fit en télégraphie sous marine le mirent en relation avec THOMSON, dont il provoqua indirectement les recherches mathématiques sur la transmission des signaux le long d'un câble; il n'était pas d'ailleurs question de l'inductance, dont HEAVISIDE montra l'importance quelques années plus tard. CLARK fut associé à l'heureuse réalisation du câble transatlantique en 1866. Il était, à cette époque, membre du

Comité des Unités de la *British Association*, auquel Sir Charles Bright avait suggéré des noms d'unités peu différents de ceux actuellement en usage. Il est connu de tous les électriciens comme l'inventeur de la pile au mercure de Clark qui fut, pendant tant d'années, le seul étalon constant de force électro-motrice, si utile à cette époque reculée du courant continu à basse tension, à laquelle le nom du Colonel Crompton est étroitement associé.

La télégraphie terrestre avait accompli un progrès remarquable grâce à l'invention du télégraphe imprimant de David Edward Hughes. Né à Londres, mais ayant longtemps habité l'Amérique, c'était un expérimentateur de génie, qui réalisa le premier la radiotransmission, huit ans environ avant Hertz, en décelant les ondes électriques à environ 400 m de leur origine.

Son souvenir restera, non pas tant en raison de son télégraphe imprimant, quelle que puisse être son importance, que par l'invention du microphone, en 1876. C'est, en effet, l'introduction de cet appareil qui rendit possible les communications téléphoniques.

La grande *Institution of Electrical Engineers* fut fondée, à l'origine, en 1871, sous le nom d'*Institution des ingénieurs télégraphistes*. Elle changea de nom en 1888 et on peut dire que cette date a marqué les débuts pratiques de la grande industrie électrotechnique moderne. Les deux raisons de cette transformation furent le rapide développement pris à cette époque par la dynamo et par le moteur à courant continu (peut être l'introduction du moteur à gaz comme moteur primaire exerça-t-elle une certaine influence), et l'invention de la lampe électrique à filament incandescent.

L'arc à courant alternatif était bien connu en 1870. Il fut employé constamment pendant le siège de Paris. La bougie Jablokhoff permit, entre 1875 et 1880, de dissiper les ténèbres sur les quais de la Tamise ; quand, quelques années plus tard, Joseph Wilson Swan lança sa lampe à filament de carbone incandescent, chacun put constater que cette source réalisait, pour l'éclairage intérieur, ce qu'avait fait la lampe à arc pour celui des rues. Ces deux sortes de lampes exigeaient une puissance très supérieure à celles que les ingénieurs télégraphistes étaient accoutumés à manier et une nouvelle classe d'électriciens apparut, qui comptaient en chevaux et en kilowatts, alors que leurs prédécesseurs ne parlaient que de piles et de milliampères.

SWAN, ayant combiné son invention avec celle d'EDISON, inonda le monde de lumière électrique. Ses principales contributions à la science sont, avec sa lampe, la photographie indélébile au carbone, le papier sensible au bromure, les accumulateurs au plomb compartimentés et les filaments en cellulose filée, qui ont donné naissance à l'industrie de la soie artificielle. SWAN était surtout un chimiste, bien qu'il ait fait un grand nombre d'expériences en électricité, mais il est indubitable que ses travaux donnèrent une impulsion immense à la distribution d'énergie électrique; en fait, ils firent naître la fourniture de puissance motrice qui prit avec le temps, son développement actuel.

En tête de ce dernier progrès, nous trouvons deux hommes éminents, JOHN HOPKINSON et SEBASTIEN ZIANI de FERRANTI. Stimulé par les succès que remportait KELVIN dans la solution des problèmes électriques pratiques, HOPKINSON qui était « Senior Wrangler and Smith's prizeman », avait appliqué ses remarquables talents à résoudre des problèmes nouveaux et aussi pressants qu'avaient été ceux du câble transatlantique et qui se posaient pour la construction des nouvelles machines dynamo-électriques, ou dynamos, comme KELVIN les appelait ; celles-ci trouvaient leurs applications dans le domaine pratique. HOPKINSON était un homme de grande vigueur de corps et d'âme ; son père, ingénieur connu à Manchester, lui avait donné dès le début une instruction plus pratique que livresque. Directeur, à vingt-trois ans, de la verrerie de Chance, de Birmingham, il travailla d'abord à l'équipement des phares. Il inventa le système à feux groupés, qui permet actuellement de les identifier. THOMSON s'y intéressa, et HOPKINSON subit son influence. Les communications remarquables sur les diélectriques, par lesquelles il commença et finit sa carrière scientifique, sont surpassées en intérêt par ses recherches sur les principes de l'établissement des circuits magnétiques dans les machines. Lui-même, avec son frère EDWARD, réalisa en 1886, pour le circuit magnétique, ce que OHM avait fait, cinquante ans plus tôt, pour le circuit voltaïque. C'était un progrès de premier ordre. Si Lord KELVIN fut le plus grand ingénieur électricien scientifique, JOHN HOPKINSON fut son digne second.

Tandis qu'HOPKINSON, en montrant comment l'on devait construire et essayer les machines, s'imposait à la reconnaissance éternelle des ingénieurs électriciens, de FERRANTI, avec son génie pratique, leur ap-

prenait à transmettre l'énergie par courants alternatifs à haute tension. Après quelques années passées au Collège de l'Université, il entra aux Ateliers Siemens à Charlton, en 1881, au moment même où apparaissait la lampe Swan. Quatre ans plus tard, lorsqu'il fit breveter son transformateur, l'industrie des lampes était bien assise et, pour fournir l'énergie nécessaire à l'éclairage, il inaugura sa brillante carrière dans les courants alternatifs. Il construisit des machines, des câbles, des transformateurs, de l'appareillage ; les meilleurs isolants pour les câbles à 10 000 V étaient alors, d'une part le papier brun, de l'autre, un sous-produit de la fabrication des chandelles de cire. Beaucoup de ces câbles étaient encore en exploitation, après trente-cinq ans de fonctionnement constant.

Le fameux problème posé par la résonance des câbles de Deptford reçut d'Hopkinson sa solution mathématique. L'étude de ce problème exigeait — comme tout autre problème d'électrotechnique — pour se rendre maître de phénomènes nouveaux et fondamentaux, à la fois l'habileté du savant, l'intuition et l'instinct pratique de l'ingénieur électricien.

La radiodiffusion mondiale et la transmission triphasée de l'énergie constituent les dernières phases de la succession de Faraday, l'une dans la science, l'autre, dans l'art de l'ingénieur.

L'EXPLORATION DE L'ÉTHER

LE CHAMP MAGNÉTIQUE ET LA LUMIÈRE

L'action à distance

par Sir Oliver LODGE, F. R. S.

Les vues de FARADAY sur l'éther remplissant l'espace furent, sans aucun doute, influencées par celles de son prédécesseur THOMAS YOUNG, qui, lui-même, devait beaucoup à NEWTON. FARADAY, cependant, était si profondément plongé dans l'étude des phénomènes, qu'il ne pouvait s'empêcher de se former des idées personnelles. Il insistait, avec force, sur l'importance de ce qu'on appelle l'espace vide touchant et enveloppant les corps électrifiés ou magnétisés. On peut dire qu'il fut le premier à apercevoir clairement l'importance du rôle joué par le vide dans tous les phénomènes et à démontrer qu'un corps qui agit à distance le fait en modifiant le milieu tout autour de lui. L'introduction d'une matière pondérable dans l'espace ne fait que modifier ou, peut-être, nous aider à nous représenter, ce qui occupait cet espace auparavant. Pour expliquer le diamagnétisme, il reconnaît la nécessité d'admettre que certaines substances ont moins de perméabilité, comme nous le dirions maintenant, que l'espace vide. Il compare les lignes de force aux rayons lumineux et il ne peut accepter l'idée qu'un aimant dans le vide soit dans un état « d'obscurité magnétique ».

FARADAY put montrer que, bien souvent, l'introduction d'un corps matériel dans l'espace entourant une bobine ou un aimant ne produit pas de modification appréciable du champ magnétique, sauf si la substance introduite est elle-même magnétique. Ses recherches sur ce sujet sont contenues dans la section 1709-1736, vers la fin du volume I de ses « Experimental Researches ». Dans cette partie ancienne de ses comptes rendus, il se borne à enregistrer des faits observés, sans en rechercher les causes. Sa formation de chimiste et son instinct naturel le poussaient à admettre que tout phénomène suppose l'existence de corps matériels ; il lui fallut faire des essais répétés pour se con-

vaincre qu'une matière ne produit souvent, par elle-même, aucun effet et que, dans aucun cas, sa présence n'est essentielle, qu'elle soit isolante comme la gomme laque ou le soufre, ou bonne conductrice comme le cuivre.

En d'autres termes, l'influence inductive qu'il avait lui-même découverte, se transmet à travers l'espace vide. Il concevait cependant ce phénomène comme résultant des efforts et des contraintes existant dans le milieu et qu'il représentait par ses lignes de force. Ainsi il fut amené, comme nous le sommes encore, à admettre l'existence d'un milieu éthérique d'une nature quelconque, capable de supporter ces efforts et ces contraintes.

Je note, incidemment, qu'il imagine un dispositif exactement analogue en principe à la balance d'induction de Hughes, et qu'il manifeste une vive surprise en constatant qu'un corps conducteur tel que le cuivre, dans lequel des courants induits ont dû se produire, ne modifie pas l'induction magnétique finalement transmise à travers ce corps. Il suppose cependant et avec raison, que le temps pouvait intervenir, ce qu'il n'avait pu observer en raison de la paresse de son galvanomètre détecteur. Il établit ceci clairement, dans la section 1730. S'il avait disposé d'un téléphone capable de suivre exactement les fluctuations instantanées du courant, il aurait réalisé la balance d'induction de Hughes, dès cette époque reculée de 1838.

Guidé par des expériences de ce genre et par une multitude d'autres que nous avons tendance à oublier maintenant, parce que nous avons reconnu qu'elles devaient forcément donner des résultats négatifs (mais qu'il devait cependant toutes tenter alors, pour être sûr de n'avoir rien négligé de ce que les instruments pouvaient lui montrer), Faraday commença à méditer sur un phénomène connu pour être transmissible dans le vide, celui des rayons lumineux et à se demander quelle relation ces rayons pouvaient avoir avec ses lignes de force. Il fut amené à considérer que ces lignes existaient, non seulement dans un champ magnétique ou électrique, mais aussi dans le champ de gravitation. Il ne pouvait échapper à sa conviction instinctive de l'existence d'une relation entre les diverses forces. Il eut le bonheur de découvrir une de ces relations, à une époque où aucune théorie n'indiquait l'existence d'un phénomène de ce genre.

Il trouva qu'un champ magnétique imprimait une rotation à la lumière envoyée suivant ses lignes de force.

Il rechercha aussi l'effet que pouvait produire l'application d'un champ magnétique à une source lumineuse ; mais les instruments

dont il disposait n'étaient pas adéquats ; la découverte fut faite longtemps après, par ZEEMAN, et fut immédiatement comprise par les mathématiciens LARMOR et LORENTZ. Le Dr JOHN KERR réussit aussi, grâce à des expériences magnifiquement conduites, à couronner les découvertes de FARADAY par deux autres relations, qui portent son nom, entre le magnétisme, l'électricité et la lumière.

Le phénomène encore plus ténu qui manifesta enfin une relation entre la gravitation et la lumière, échappa complètement à FARADAY, malgré les recherches ardentes qu'il poursuivait en vue de découvrir une influence quelconque de la gravitation sur les phénomènes électriques, magnétiques ou lumineux. Ce phénomène échappa aussi à tous les expérimentateurs contemporains et il ne céda enfin qu'au génie mathématique du Professeur EINSTEIN.

Le fait que FARADAY n'acquit que graduellement la conviction complète qu'un milieu continu intervient pour transmettre les forces entre les particules matérielles, résulte clairement du rappel des étapes successives qu'il dut franchir, d'abord en électricité, puis en magnétisme (voir son premier travail au volume 1er, 1613-1616, 1663, 1710 et 2443) ; mais il se demandait si ses lignes de force ne se prêtaient pas mieux qu'un milieu uniforme à la transmission des vibrations ; en d'autres termes, il aperçoit que l'éther doit avoir une structure et n'est pas assimilable à l'air ou à l'eau. Il exprime cette manière de voir dans une lettre à PHILIPS, intitulée: « Réflexions sur les vibrations des rayons », de mai 1846. Non seulement il reconnaît l'utilité des lignes de force, mais il insiste sur la réalité de leur nature physique et il souligne leur existence autour des courants aussi bien qu'entre les pôles magnétiques. Il parle aussi, dans le n° 3301, de l'hypothèse d'EULER d'après laquelle « le fluide magnétique ou éther se déplacerait à la manière de filets liquides à l'intérieur des aimants et à travers l'espace et les substances qui les entourent ». Il parle aussi de lignes d'énergie dans l'aimant et dit qu'elles pourraient également être considérées, soit comme « des courants, soit comme des vibrations propagées, soit comme des ondes stationnaires, soit comme un état de tension ». Il cite, en l'approuvant, la théorie de NEWTON sur l'impossibilité ou l'absurdité de l'action à distance en l'absence d'un milieu de transmission et il dit que « même la gravité ne peut se transmettre et produire un effet à distance, s'il n'existe pas un agent interposé, satisfaisant aux conditions d'une ligne physique de force. »

Un de ses arguments est la courbure intrinsèque des lignes de force qui diffèrent, à ce point de vue, des rayons lumineux. Un autre est

basé sur le courant qu'elles induisent dans un circuit qui les coupe. « Le simple fait du mouvement ne peut produire ce courant : il doit exister autour de l'aimant et sous son action, une condition ou un état physique, où le fil a pénétré, et ceci montre bien la constitution physique des lignes de force magnétiques. »

Mais de quelle espèce peut être la substance ou l'agent qui remplira ces conditions et produira le résultat observé ? Il n'en a pas l'idée, et il s'abstient de toute hypothèse. En réalité, il se montre plutôt moderne dans la conclusion d'une note des Proceedings de la *Royal Institution* de juin 1852, où, avec précautions, il parle de l'espace : « La réponse à la question de savoir si l'existence d'un milieu matériel est indispensable à l'établissement de la force magnétique, dépend de ce que nous entendons par le terme de matière. Si ce terme ne doit s'appliquer qu'aux substances pondérables, ou soumises à la gravitation, la matière n'est pas plus essentielle pour les lignes physiques de force magnétique, que pour les rayons de lumière ou de chaleur ; mais si, en supposant l'existence de l'éther, nous admettons qu'il soit une espèce particulière de matière, alors les lignes de force pourront dépendre de quelque fonction de cet éther. L'expérience nous montre que l'espace pur est magnétique; mais alors la notion de l'espace pur doit inclure celle de l'éther, quand on envisage cette hypothèse ; ou si, dans l'avenir, quelque autre conception se fait jour sur l'état ou sur les propriétés de l'espace, on ne devra pas perdre de vue ce que nous appelons actuellement l'espace pur, d'après nos données expérimentales.

D'autre part, c'est, je crois, un fait établi, que la matière pondérable n'est pas essentielle à l'existence des lignes physiques de force magnétique ».

Ceci signifie, ou du moins nous pouvons aujourd'hui lui donner ce sens, que l'on peut décrire des expériences et faire des calculs sans s'attacher à aucun détail des propriétés de l'espace, c'est-à-dire sans mentionner l'éther ; mais que la conception d'un milieu de transmission impalpable d'une nature quelconque devient nécessaire dès que nous commençons à spéculer sur les détails physiques du phénomène étudié.

LE LIVRE DE NOTES DU LABORATOIRE

L'HISTOIRE D'UNE RECHERCHE

Le Journal qui va être imprimé.

par Thomas MARTIN

FARADAY avait l'habitude, lorsqu'il travaillait dans son laboratoire de la *Royal Institution*, de rédiger des notes sur ses expériences au fur et à mesure de leur exécution. Pendant tout le temps qu'il poursuivit son travail scientifique original, il prit ainsi, avec le plus grand soin, des notes très complètes auxquelles il avait coutume de se reporter constamment quand il préparait ses publications.

Sa première communication sur une analyse de chaux caustique, que Sir HUMPHRY DAVY lui avait demandé d'entreprendre, parut en 1816 ; il avait alors 25 ans ; sa dernière expérience, la recherche d'une action du champ magnétique sur le trajet d'un rayon lumineux, fut faite le 12 mars 1862. Les notes qu'il prit au cours de cette période, sauf celles des quatre premières années, ont été conservées à la *Royal Institution*. Elles contiennent le premier compte rendu manuscrit de tout son travail expérimental entre 1820 et 1862 sauf, seules exceptions notables, les comptes rendus de ses premières recherches sur le verre d'optique et sur les alliages d'acier. Les communications originales relatives au verre sont la propriété de la *Royal Society*, ayant été préparées sous la direction d'un Comité de cette Société dont FARADAY était membre. Quant aux recherches sur les aciers, elles avaient été complètement terminées avant 1820.

Ce sont les notes sur les expériences faites de 1820 à 1862 qui constituent le Journal de FARADAY, titre sous lequel son manuscrit est, aujourd'hui, généralement connu.

Elles remplissent deux petits livres in quarto se rapportant aux premières années et 8 volumes in folio pour la période de 1831 à 1862. En 1831, il commença à employer de simples feuilles de papier écolier au lieu de carnets de notes reliés et à numéroter chaque paragraphe. Les feuilles étaient reliées en volume, avec la date en tête de chaque page :

après quelques courtes séries de paragraphes numérotés, il commence, dans le volume 2, une série s'étendant à l'ensemble des autres volumes et contenant plus de 16 000 numéros. A la mort de FARADAY, en 1867, la totalité de ces notes manuscrites devint la propriété des directeurs de la *Royal Institution*, à qui FARADAY les légua ; elles sont toujours restées, depuis, dans cette bibliothèque. Il en a été fait, de temps à autre, des extraits par BENCE JONES et d'autres, mais elles n'ont jamais été publiées.

A la fin de l'été et à l'automne de 1831, FARADAY établit les principes de la production de l'électricité par le magnétisme. Son premier résultat est noté le 29 août 1831 ; ceux obtenus au cours des semaines suivantes furent communiqués à la *Royal Society* dans la première et la seconde série des Recherches expérimentales sur l'électricité.

Le Journal relate ses expériences exactement comme elles ont été faites. Pour célébrer le centenaire de la plus grande découverte de FARADAY, les Directeurs de la *Royal Institution* ont décidé de publier intégralement son Journal. Cette publication occupera 7 gros volumes, dont le premier sortira des presses au commencement de 1932.

Le Journal de FARADAY est unique parmi les manuscrits scientifiques : s'il se présente sous forme d'un simple bloc-notes de laboratoire, contenant la description des méthodes expérimentales, accompagnées des dessins des appareils employés et de notes soigneusement prises sur les résultats obtenus, il représente, en fait, beaucoup plus. FARADAY lui confiait ses espoirs et ses craintes scientifiques, ses hypothèses et ses idées pour ses expériences ultérieures, ses observations fortuites. Dans les articles qu'il a publiés, nous retrouvons ces observations soigneusement émondées, revues et notées dans un langage assez précis, mais expressif, où il était passé maître. Dans la rédaction de son Journal, il fait souvent des fautes de grammaire. Ses expériences sont décrites dans l'ordre où elles furent réellement exécutées ; il les accompagne de commentaires, de questions qu'il se posait ; on y trouve assez souvent un accent de fierté. Nous pouvons suivre le développement graduel de ses idées, à mesure qu'il est conduit d'une expérience à l'autre, jusqu'à ce qu'il ait clairement établi, pour sa propre satisfaction, les généralisations qui constituent aujourd'hui les bases de toute la science.

Le premier volume du Journal imprimé présente un intérêt extraordinaire et une extrême variété. En mars 1823, FARADAY liquéfie des gaz ; en mai 1825, il isole une substance particulière qu'il prend d'abord pour du naphtol, mais qu'il reconnaît ensuite être du benzol

ou, comme il l'appelait, du bicarbure d'hydrogène. Il fait des expériences sur l'électro-magnétisme et, le jour de Noël 1821, il réussit à faire tourner, sous l'influence du magnétisme terrestre, un fil parcouru par un courant. C'est ce jour-là, raconte-t-on, qu'il amena sa femme dans son laboratoire pour voir l'expérience.

En août 1823, il était à Folkestone, regardant voler des mouettes « Comment ces oiseaux volent-ils, dit-il, et pourquoi ne pouvons-nous faire voler de même un homme ou une machine dans les mêmes conditions » ?

Il y a un grand nombre de commentaires et d'observations semblables et, dès le premier volume, on trouve la fameuse série d'expériences qui débuta par celle de l'anneau d'induction, le 29 août 1831.

ACIERS ET ALLIAGES

LE CONTENU D'UNE CAISSE CÉLÈBRE

Examen scientifique des échantillons.

par Sir Robert HADFIELD, F. R. S.

Quoi qu'il soit généralement connu que MICHEL FARADAY dépensa beaucoup de temps et de peine à préparer des alliages d'acier durant les premières années de ses travaux à la *Royal Institution*, la valeur et l'importance de ses recherches dans ce domaine ont été jusqu'ici sous-estimées. Dans sa notice nécrologique sur FARADAY, figurant aux procès-verbaux de la *Royal Society*, BENCE JONES va jusqu'à dire : « Les résultats que STODART et FARADAY présentèrent à la *Royal Institution*, en 1822, dans leur communication sur l'acier, n'avaient aucune valeur pratique et cette recherche, l'une des premières et des plus laborieuses qu'ait exécutées FARADAY, tranche fortement sur tous ses autres travaux, car elle n'aboutit à rien. »

D'autres biographes de FARADAY paraissent avoir souscrit à cette opinion mais, grâce à la bienveillante autorisation des directeurs de la *Royal Institution*, j'ai pu soumettre 79 échantillons pris parmi les aciers et les alliages fabriqués par FARADAY, il y a plus de cent ans, à une étude complète, chimique, physique et mécanique, à d'autres essais encore. Les résultats de cette étude, complétés par des recherches aussi poussées que possible sur les conditions et les circonstances dans lesquelles travaillait FARADAY, m'amènent à soutenir que les alliages d'acier obtenus par lui au cours des années 1819 à 1824, apportent une preuve nouvelle de son génie et de sa faculté de divination. Ils représentent, en fait, les débuts d'une recherche systématique et compréhensive dans ce domaine des alliages d'acier, où FARADAY peut être, à juste titre, salué comme un pionnier. Si les alliages de FARADAY n'ont pas trouvé d'application pratique durable, c'est que le milieu et l'état des connaissances métallurgiques générales à cette époque, ne permettaient ni leur développement, ni leur utilisation. Ainsi, on n'avait aucun besoin, dans la construction et dans la mécanique, des qualités

et des propriétés spéciales que nous recherchons aujourd'hui et que nous trouvons dans les alliages d'acier. Néanmoins, FARADAY fut le premier à reconnaître l'importance que présentait l'étude, sur une large base, des propriétés de ces alliages et on peut bien dire que, dans ce domaine encore, il fut un précurseur.

Je présente cette revendication, non à la légère, mais après avoir pesé tous les témoignages contemporains de quelque valeur ; après avoir fait, des échantillons de FARADAY, une étude complète, comportant l'emploi de toutes les ressources d'un laboratoire moderne de recherches ; après avoir recouru à mon expérience personnelle de cinquante années dans le domaine de la métallurgie des métaux ferreux, expérience qui, pendant toute cette période a porté, en grande partie, sur les alliages d'acier.

Les recherches étendues et laborieuses de FARADAY sur les alliages d'acier, lesquels ne comportaient pas moins de seize éléments différents et de quatre composés spéciaux, furent poursuivies, par lui de 1819 à 1824, alors qu'il avait de 28 à 33 ans. Elles se placent après sa nomination aux postes d'Assistant du Laboratoire et de la Section minéralogique et de Préposé aux appareils à la *Royal Institution*, en 1815, au retour de son voyage sur le continent avec Sir HUMPHRY DAVY, et avant sa nomination au poste de Directeur du Laboratoire, en 1825. Tous les échantillons « d'acier et d'alliages », comme il dit, faits par FARADAY, furent préparés dans le laboratoire de la *Royal Institution*; il fut le plus souvent assisté par M. JAMES STODART, F. R. S., fabricant d'instruments de chirurgie et de coutellerie, beaucoup plus âgé que lui et qui mourut en 1823, à l'âge de 63 ans.

L'aide de STODART

Sans aucun doute, FARADAY reçut une aide considérable de STODART, sous forme de conseils pratiques pour le travail de l'acier et peut être aussi pour le forgeage et la préparation de barres et d'outils d'essai, ou d'instruments fabriqués avec les alliages. Le nom de STODART figure le premier dans les titres des communications présentées à la *Royal Institution*, en 1820 et à la *Royal Society* en 1822, parce qu'il était l'aîné et, aussi, parce qu'il fut élu membre de la *Royal Society* en 1829, trois ans avant que FARADAY n'obtint cette distinction. Néanmoins, il ressort clairement des communications mentionnées, que le travail effectif de préparation des alliages fut exécuté, en premier lieu, par FARADAY lui-même, à la *Royal Institution*. Les

alliages les plus intéressants furent fabriqués par plus grandes quantités aux aciéries de SANDERSON, à Sheffield, avec des matières que FARADAY préparait à la *Royal Institution* et qu'il envoyait par route à Sheffield, aux soins d'un représentant de confiance. Malheureusement, on ne peut trouver aucune trace des alliages fabriqués ainsi « massivement » parfois en lingots de 5 ou 10 kg. Certains d'entre eux paraissent avoir été employés pour confectionner des couteaux et des rasoirs et dans quelque but spécial, probablement pour la fabrication de coins, dans le Mint.

Certains échantillons, que l'on sait avoir été conservés depuis que FARADAY les a fabriqués, il y a quelques 110 ans, furent placés par lui dans une petite boîte de bois blanc, étiquetée de sa propre main : « Acier et alliages ». Ces échantillons, au nombre de 79, ne pesaient ensemble que 4 kg. Les directeurs de la *Royal Institution* ont bien voulu m'autoriser à prélever un fragment sur chaque échantillon, pour le soumettre à une étude et à des essais complets ; grâce à cela, j'ai pu dégager un grand nombre de renseignements intéressants et utiles et démontrer que FARADAY s'est révélé, en métallurgie, comme un chercheur d'une grande habileté et comme un pionnier ou un précurseur dans le domaine des alliages d'acier.

Durant les dernières années du XVIII[e] siècle et les premières années du XIX[e], les propriétés et la composition de l'acier indien avaient suscité beaucoup d'intérêt, non seulement en Angleterre, mais aussi sur le continent. Les plus beaux échantillons de cet acier paraissent avoir été supérieurs à toute autre matière utilisable alors pour la fabrication des instruments de chirurgie et des autres instruments tranchants de qualité supérieure. Le docteur HELENUS SCOTT envoya, de l'Inde, des échantillons de l'acier en question, à Sir JOSEPH BANKS, F. R. S., alors Président de la *Royal Society* et celui-ci en confia l'examen au D[r] GEORGE PEARSON, F. R. S., qu'assistait M. JAMES STODART.

Les résultats de ces recherches furent publiés dans les Philosophical Transactions en 1795 ; on y lit que STODART considérait l'acier indien comme supérieur, pour de nombreuses applications, à l'acier alors employé en Angleterre. Il resta évidemment fidèle à cette opinion, car une de ses cartes commerciales, imprimée vers 1820, mentionne qu'après des essais comparatifs poursuivis pendant plusieurs années, il préférait l'acier indien au meilleur acier d'Europe pour la confection des instruments de chirurgie, rasoirs, couteaux, etc...

Ceci étant donné et si nous considérons l'étroite collaboration de

FARADAY et de STODART, nous ne pouvons être surpris que le premier ait, dans une certaine mesure, regardé l'acier indien comme un étalon de comparaison et même que, dans quelques-uns de ses essais, il ait cherché à le reproduire. Ses recherches sur l'acier et ses alliages étaient toutefois basées, dans l'ensemble, sur une conception beaucoup plus large.

En commençant ses recherches sur l'acier et les alliages, FARADAY était tout d'abord préoccupé d'obtenir des matières supérieures à l'acier ordinaire au carbone, pour les couteaux, les instruments chirurgicaux et autres, ainsi que des alliages pouvant servir à faire de bons miroirs, non sujets à se rouiller ou à se ternir. C'est seulement pour ces applications que, à cette époque, le besoin se faisait sentir d'une matière supérieure à la fonte, au fer forgé ou à l'acier au creuset. Les aciers à coupe rapide, les aciers spéciaux pour chemins de roulements, les aciers au silicium pour tôles feuilletées de transformateurs, les aciers pour obus percutants contre les cuirasses, pour barres de fours spéciaux, pour soupapes, fait, tous les alliages d'acier utilisés aujourd'hui, étaient alors inexistants.

Il résulte des renseignements tirés des notes de FARADAY et des recherches faites sur les 79 échantillons laissés par lui, qu'il réussit à obtenir quelques alliages supérieurs à l'acier ordinaire pour la confection des instruments, des outils tranchants et des miroirs. Il semble parfaitement possible que ces alliages eussent été utilisables dans l'industrie il y a déjà un siècle et il n'est pas douteux que des progrès ultérieurs importants eussent pu être accomplis, si les fabricants d'acier de cette époque avaient apprécié l'importance des travaux de FARADAY et poursuivi, dans des conditions industrielles, les brillantes recherches que, dans son laboratoire et avec les plus modestes ressources, il avait exécutées avec tant de succès.

Comme je l'ai déjà mentionné, les échantillons d'acier et d'alliages que je viens d'étudier, ont été fabriqués par FARADAY lui-même à la *Royal Institution*.

Les divers éléments, en proportions voulues pour la production des alliages binaires ou ternaires, étaient placés dans un creuset et fondus au « four soufflé ». Celui-ci consistait essentiellement en un feu de coke brûlant dans un foyer de terre. La combustion était poussée, à l'aide d'un soufflet à main, jusqu'à l'obtention de la haute température nécessaire.

Tous ces détails nous sont parfaitement connus par les descriptions qui en ont été laissées.

Le petit creuset, chargé du poids de métal à fondre, était plongé au milieu du feu, après avoir été obturé par un couvercle qui protégeait le contenu. On laissait refroidir, dans le creuset, le petit bouton d'alliage ainsi produit qui était ensuite forgé en barres, soit par FARADAY lui-même, soit peut-être par les couteliers de STODART, dans les ateliers situés derrière son établissement, au n° 401 du Strand, à Londres.

Grâce à la générosité du Dr WILLIAM HYDE WOLLASTON. F. R. S., FARADAY pouvait se procurer les métaux rares dont il avait besoin pour ses alliages, tels que platine, rhodium, palladium, osmium, iridium.

Ces opérations s'exécutaient à une échelle suffisante pour qu'on ait été amené à les transférer, du laboratoire de la *Royal Institution*, au « four du fabricant d'acier fondu » c'est-à-dire aux ateliers de MM. SANDERSON, à Sheffield, où des lingots pesant de 5 à 10 kg étaient coulés sous la surveillance d'un représentant de FARADAY, envoyé de Londres avec les matières préparées et pesées.

Il faut bien clairement comprendre que l'étude scientifique et technique faite par moi sur les échantillons de FARADAY, au Laboratoire de recherches de Hadfield, Sheffield, a porté sur des spécimens d'acier et d'alliages qui ont été, par bonheur, conservés exactement dans l'état où ils étaient en sortant des mains de leur fabricant, il y a plus de cent ans.

FARADAY, comme je l'ai dit, en plaça 79 dans une boîte de bois qu'il étiqueta, de sa propre main « acier et alliages, FARADAY ».

Sur ces échantillons, j'ai exécuté 428 analyses chimiques et un grand nombre d'examens métallographiques, d'essais mécaniques, physiques, de traitements thermiques ou autres.

Le plus volumineux de ces échantillons pesait 140 g et 66 ne pesaient en moyenne que 31 g.

Le poids total prélevé sur l'ensemble des échantillons pour les 428 analyses, n'a été que de 187 g.

Cependant, de cette faible quantité de matière, il a été possible de tirer un trésor de données qui, non seulement portent sur les qualités des alliages eux-mêmes, mais nous fournissent aussi des renseignements encore utiles aujourd'hui.

Après l'achèvement complet des divers essais, chimiques et autres, il restait encore 3 287 g d'échantillons originaux, les prélèvements nécessités par l'étude entière n'ayant absorbé que 595 g.

Les connaissances en chimie comme en métallurgie n'étaient guère sorties de l'enfance au temps de FARADAY.

L'analyse quantitative, telle qu'on la pratique aujourd'hui, n'était pas encore connue et, dans toutes les notes de FARADAY sur l'acier et ses alliages, on ne trouve pas une seule analyse des produits qu'il obtenait.

On admettait que l'alliage renfermait les éléments constitutifs dans la proportion même où ils avaient été mis au creuset.

Les analyses chimiques faites par l'auteur, qui ont permis, dans la plupart des cas, de retrouver au moins 99,6 pour cent du poids total des matières, malgré les difficultés provenant de la nature spéciale de quelques alliages et des faibles quantités disponibles pour les essais, constituent donc les premières analyses complètes qui aient été faites des échantillons de FARADAY.

C'est seulement par ces procédés, complétés par des essais métallographiques, physiques, mécaniques et autres, que j'ai pu arriver à me faire une idée exacte de la nature et de la valeur des travaux de FARADAY. Aucun autre moyen n'y pouvait conduire.

Parmi les 20 éléments et matériaux ferreux spéciaux mentionnés par FARADAY à propos de ses recherches, il y a 13 éléments métalliques, dont 7 métaux nobles, 3 éléments non métalliques et 4 composés spéciaux, nommément de l'acier indien, du carbure de fer, un alliage d'aluminium ou acier damasquiné et du fer météorique.

Comme éléments d'addition, j'ai trouvé les suivants dans les échantillons d'acier de FARADAY que j'ai examinés : carbone, chrome, cuivre, or, fer, platine, rhodium, silicium, argent et soufre.

Les éléments iridium, palladium, osmium et étain, n'ont été rencontrés dans aucun des 79 échantillons; il est vrai que ceux-ci ne constituent qu'une faible partie du nombre total de ceux que FARADAY a fabriqués.

Dans une de ses communications, il note qu'il a fait, sans succès, plusieurs tentatives pour allier le titane à l'acier.

Il est assez curieux qu'aucun des alliages fabriqués par FARADAY ne contienne plus de 0,04 à 0,07 pour cent de manganèse et il est évident que ce métal n'avait jamais été introduit volontairement.

Dans les communications de STODART et de FARADAY, il est fait allusion à divers alliages d'acier contenant une très forte proportion d'éléments non ferreux. Les dernières expériences de FARADAY sur les alliages d'acier, inscrites de sa propre main sur son journal, de novembre 1823 à juin 1824, c'est-à-dire jusqu'au 9e mois qui suivit la mort de STODART, se rapportaient précisément à cette catégorie d'alliages.

*

Ainsi, l'échantillon 7 était de l'acier à 50 pour cent de platine : l'échantillon 8, de l'acier à 80 pour cent de platine ; l'échantillon 9, de l'acier à 50 pour cent de rhodium.

Malheureusement, on n'a pu retrouver aucune trace ni de ces matériaux, ni d'autres échantillons intéressants mentionnés par FARADAY et qui comprenaient du platine et de l'acier corroyé, de l'acier tordu et forgé pour imiter le damasquiné, du fer pur fondu, du fer à 3 pour cent de rhodium et du fer à 3 pour cent de nickel.

L'alliage binaire à plus haute teneur d'acier trouvé dans la fameuse boîte de bois, contient 2,79 pour cent de cuivre; un autre échantillon contient 1,50 pour cent de cuivre et un troisième 2,36 pour cent de chrome.

L'analyse chimique et les essais complémentaires faits sur les échantillons de FARADAY, ont posé une série de problèmes très intéressants, qui ont permis de dégager des données expérimentales très utiles.

La plus extrême économie s'imposait dans l'emploi des matériaux soumis à l'analyse chimique et dans la préparation des éprouvettes destinées aux essais mécaniques et autres.

Après mûr examen de toutes les conditions en présence, nous avons arrêté une méthode qui a donné, à l'usage, complète satisfaction.

Un premier examen métallographique et spectroscopique donnait souvent une indication précieuse pour l'étude chimique ultérieure.

On peut conclure, de toute cette série d'essais, dont chacun a apporté, au résultat final, une contribution essentielle, que nous sommes arrivés à connaître parfaitement la constitution de ceux des échantillons de FARADAY qui nous ont été conservés.

Le compte rendu complet de la recherche étendue poursuivie par l'auteur, comprenant l'étude et les essais des échantillons, a été fait dans une communication intitulée « Recherche sur l'acier et les alliages de FARADAY », présentée à la *Royal Society* et publiée dans les « Philosophical Transactions », vol. 230, 1931.

L'auteur exprime ici sa gratitude au Comité de la *Royal Society* pour avoir bien voulu l'autoriser à se référer ici à cette communication. Il a aussi, sur le même sujet, un ouvrage à l'impression.

Depuis que cet article a été écrit, neuf petits échantillons et un rasoir dont FARADAY s'est servi, ont été, grâce à l'amabilité de Sir

Henry Lyons, Directeur du Musée Scientifique et avec le consentement de leur propriétaire, M. A. Evelyn Barnard, mis à la disposition de l'auteur pour une étude complète.

Cette collection, quoique de peu d'importance matérielle, est particulièrement intéressante, car elle représente quelques-uns des importants échantillons d'alliages, d'acier à haute teneur de platine et de palladium que Faraday avait mentionnés et que, jusqu'ici, on croyait disparus.

Cette nouvelle étude est actuellement en cours et fera bientôt l'objet d'une communication ultérieure.

Les quantités relativement restreintes de matériaux fabriqués par Faraday et dont nous disposons maintenant, ne peuvent donner la véritable mesure de tout ce qu'il a accompli dans le domaine des manipulations métallurgiques et il est également impossible d'évaluer tout ce que nous aurions pu découvrir aujourd'hui, en étudiant certains des alliages qui nous manquent, en particulier ceux à haute teneur en platine et à haute teneur en rhodium.

Nous en savons maintenant assez, toutefois, pour pouvoir proclamer que Faraday fut un métallurgiste d'une intuition et d'une habileté remarquables.

Par exemple, il a découvert et noté le fait qu'une proportion d'argent de 1/1 500e seulement exerce une influence importante sur les propriétés de l'acier.

Il fabriqua aussi des alliages d'acier que des autorités indépendantes reconnurent être moins sujets à la rouille que l'acier ordinaire.

Sur des échantillons de ses alliages existant aujourd'hui, on a constaté que 0,74 pour cent de platine détermine une amélioration légère, mais sensible, de la résistance à la traction dans l'acier à haute teneur en carbone; que 2,18 pour cent de nickel et 0,75 pour cent d'or relèvent, dans une proportion marquée, le point de flexion et la ténacité, sans parler de beaucoup d'autres faits intéressants.

Il est impossible de dire combien d'autres renseignements auraient pu être tirés d'une étude complète de la totalité de ses échantillons, si nous avions pu en disposer; mais il y a toute raison de croire qu'ils auraient été extrêmement intéressants et peut-être d'une grande valeur.

Une chose est certaine; l'œuvre de Faraday sur l'acier et ses alliages n'a aucunement abouti à un résultat nul.

Si elle avait pu être seulement reprise et complétée par d'autres. partant du point où il l'avait laissée, les progrès de la métallurgie scientifique auraient été grandement accélérés.

FARADAY a été, sans aucun doute, le pionnier des recherches sur les alliages spéciaux d'acier et, s'il n'avait pas été aussi en avance sur son temps, au point de vue des connaissances métallurgiques générales et des besoins de l'industrie, son œuvre aurait presque certainement amené des progrès pratiques immédiats.

EXPOSÉS ET RECHERCHES

LE RÔLE DES CIRCONSTANCES EXTÉRIEURES

La fondation de la Royal Institution

par Sir William BRAGG, O. M., F. R. S.

C'est la collaboration de FARADAY à la *Royal Institution* qui lui fournit l'occasion et les moyens de faire les extraordinaires découvertes que nous commémorons en cette réunion du Centenaire.

Pour cela nous devons rendre un hommage mérité aux hommes distingués qui fondèrent l'*Institution* en 1799 ; leur idéal était noble et, à certains égards, leur prévoyance fut admirable. Il est toutefois remarquable que leur but primitif dut être abandonné au bout d'un très petit nombre d'années ; c'est le génie de DAVY et de FARADAY, génie dont les premiers fondateurs n'avaient qu'une faible compréhension, qui sauva l'Institution de la faillite et en fit un organisme vigoureux et puissant.

BENJAMIN THOMSON, comte RUMFORD, conçut le premier, de l'*Institution*, l'idée qui devait finir par se réaliser.

La vie de cet homme à la fois étrange et brillant, écrite par G. E. ELLIS et publiée à Boston en 1871, par l'*Académie américaine des Arts et des Sciences*, constitue une des bibliographies les plus intéressantes. Il était originaire du Massachusetts. Pendant les premières années qui suivirent 1770, il enseignait dans une école de Rumford, ville appelée depuis Concord et située dans cet Etat.

Doué d'un remarquable amour de l'ordre et de la discipline, il avait les qualités d'un officier d'état major de premier rang.

Son admiration pour les soldats anglais et pour le général WENTWORTH et surtout le fait que, dans ces temps troublés, il accepta une charge militaire, conférée par le général dans des circonstances particulières, le séparèrent si complètement de ses concitoyens, qu'il fut obligé de quitter l'Amérique.

En Angleterre, il devint l'ami intime de Lord GEORGE GERMAIN, et

fut nommé Sous-Secrétaire d'Etat. Son œuvre scientifique remarquable lui valut le titre de « fellow » de la *Royal Institution*.

En 1784, il entra au service de l'Electeur de Bavière, dont il réorganisa l'armée et, en 1790, il débarrassa Münich des bandes de mendiants qui y pullulaient. En 1796, il était commandant en chef des armées bavaroises ; en reconnaissance de ces services, l'Electeur le fit comte du Saint Empire Romain.

Les écrits scientifiques de Rumford, qui se succédèrent sans interruption au cours des années suivantes, traitaient principalement des lois de la chaleur et de l'économie de combustibles.

Les nuages de fumée qui couvraient Londres l'épouvantaient ; aussi publia-t-il un « essai sur les foyers de cheminées, suivi de propositions en vue de les perfectionner et d'économiser le combustible ».

D'ailleurs, il mit ces idées en pratique et put, un jour, dire que 500 cheminées, au moins, fumaient sous sa direction. De ce nombre, étaient celles de l'Hôtel de Lord Palmerston à Hanover square, des bureaux de la *Chambre d'Agriculture*, de l'Hôtel du duc de Devonshire, de Sir Joseph Banks, de la marquise de Salisbury, etc...

Ces efforts prirent parfois, nous dit Ellis, la forme d'une véritable passion dans « la poursuite de recherches et de découvertes scientifiques qui devaient servir à soulager le peuple et à accroître son bien-être ».

En 1796, il publia un essai contenant la première esquisse d'un projet qu'il devait développer plus complètement dans une brochure de 1799, sous ce titre : « Proposition tendant à fonder par souscription, dans la Métropole de l'Empire Britannique, une Institution publique destinée à vulgariser la science, à faciliter la diffusion des inventions mécaniques et de leurs perfectionnements, à enseigner, dans des conférences scientifiques accompagnées d'expériences, les applications de la science aux besoins courants de la vie ».

Il existait, à cette époque, une « Société pour l'amélioration des conditions de vie et du bien-être des pauvres », dont un des membres les plus actifs, était un certain Sir Thomas Bernard ; parmi les autres, nous citerons le comte de Winchilsea et M. Wilberforce.

Bernard, comme Rumford, avait des attaches avec le Massachusetts, car son père avait été le dernier gouverneur civil de cet Etat et lui-même avait pris ses grades à l'*Université d'Harward*.

C'était aussi un homme très remarquable ; il avait fait fortune au barreau et avait épousé une femme riche, en sorte qu'il put, de très

bonne heure, se retirer et établir soigneusement un programme d'occupations pour les années qui lui restaient à vivre.

« Lorsque je jugeai avoir acquis, dans ma profession, assez d'argent pour satisfaire mes besoins, je me décidai à quitter le barreau et à chercher quelle occupation utile je pourrais trouver qui ne fut pas propre à accroître pour moi *l'embarras des richesses* ». (1)

« Entreprendre d'améliorer les conditions de la vie de famille dans les classes laborieuses fut le premier divertissement qui s'offrit à moi ; j'adoptai les programmes du comte Rumbord pour la nourriture et le chauffage, comme constituant le meilleur début dans mon nouvel emploi. Comme il n'est pas impossible que d'autres que moi désirent un jour pratiquer cette nouvelle espèce de système antipécuniaire, j'exposerai quelques-uns de ses avantages et de ses inconvénients » :

« En premier lieu, pour ceux qui éprouvent le besoin de s'approprier les choses, d'avoir plus de chats, plus de chiens, plus de singes, plus de chevaux de courses, plus de maisons, plus de fermes, plus de maîtresses, plus d'affaires spéculatives en vue d'occuper leurs loisirs et d'absorber leurs soins, la philantrophie offre, ce qui est inestimable, un moyen plus économique, un progrès plus certain, un résultat plus satisfaisant que ce que l'on peut attendre de tout ce que je viens d'énumérer ».

« On peut y rencontrer quelques désappointements, mais courants et vite oubliés. »

« Ce système est celui de la table de jeu, sans ses horreurs. On y apporte le même degré d'ardeur mais on n'en a pas les inconvénients. Bien qu'étant, en général, heureux au jeu, j'ai parfois perdu ma mise. Cependant, mes efforts m'ont presque toujours rapporté des acquisitions d'une valeur satisfaisante ».

La citation précédente est tirée d'un compte rendu de ses faits et gestes écrits par lui en 1818 et qui ne fut publié qu'en 1930, dans « Plaisir et souffrance » de John Murray. Il appliqua son programme avec une ténacité et un succès extraordinaires. Grâce à ses efforts et à l'aide de ses collègues de la sus-dite Société, il parvint à réformer les abus les plus sérieux des institutions charitables de Londres et du Royaume-Uni, à fonder plus d'une œuvre qui existe encore et à mener le bon combat contre la maladie et la misère.

Il institua un club consacré entièrement à la littérature et où l'on interdisait les boissons, le jeu et la politique.

---

(1) Les mots en italiques sont en français dans le texte.

La publication récente de son petit livre montre qu'il méritait d'être honoré et que seule, l'ignorance de ce qu'il a accompli l'a privé de l'être.

Premières dispositions prises

Bernard entra en relations avec Rumford à propos d'une tentative d'amélioration du chauffage et de la cuisine de l'hôpital des Enfants trouvés, dont le premier était trésorier.

Tout naturellement, Rumford entra en correspondance avec lui et en 1799, il finit par lui demander de proposer à sa Société la création d'une Institution établie sur les grandes lignes de son manifeste de 1799.

Bernard soumit la question à son Comité, qui chargea un certain nombre de ses membres de conférer avec Rumford et enfin, dans une réunion tenue au domicile de Sir Joseph Banks, à Soho Square, les premières dispositions furent prises pour fonder l'institution qui devait devenir la *Royal Institution* de Grande-Bretagne.

Comme l'écrit Faraday, dans une lettre adressée à Weld, « les fondateurs n'avaient aucune notion des recherches qui devaient se développer à l'époque de Young et de Davy ». Le projet qu'ils établirent, était, en fait, celui d'un Musée Scientifique moderne et il serait vraiment difficile de prévoir aujourd'hui avec plus d'ampleur et de précision que ne l'a fait Rumford dans l'essai qu'il écrivit à ce sujet, la fonction et l'organisation d'un musée de ce genre.

Il ne subsiste guère, du projet primitif, que le nom de Chambre des modèles, porté encore par l'une des salles de la *Royal Institution*. Mais l'idée devançait son temps : la collaboration des mécaniciens et des savants avec les chefs d'industries resta entièrement stérile.

Dans le court laps de temps d'une année ou deux, la faillite devint inévitable, mais l'habileté de Thomas Young et surtout le génie scientifique de Davy, appuyés par leur situation sociale, renversa complètement la pente que l'on descendait.

Chez Davy, l'ardente poursuite de recherches originales s'unissait à une grande perfection dans l'exposé de leurs résultats. Le public s'écrasait pour l'entendre parler de ses découvertes. Finalement, l'engagement de Faraday, le relieur à la journée, sauva l'institution et inaugura le régime qui a fait l'admiration du monde scientifique.

Bernard excuse d'amusante façon le changement accompli : « Quoique les fondateurs de cet établissement n'aient pas gardé distincte-

ment et exclusivement devant les yeux leur but primitif, qui était de procurer aux pauvres, avec le confort domestique, des occupations lucratives, la classe laborieuse retirera toutefois des avantages aussi importants peut-être des études plus utiles et plus rationnelles qui, grâce à la popularité de cet établissement scientifique, se sont imposées aux classes supérieures de la Métropole. Le bien-être et la moralité des pauvres dépend, autant que de toute autre cause, de la nature des travaux et des occupations des riches ».

Il n'avait évidemment aucune idée de ce que l'institution pouvait devenir et devint en effet.

Quand, au bout de peu d'années, Davy abandonna le manteau directorial, celui-ci passa, avec une autorité accrue, à son successeur. Faraday.

Faraday à l'œuvre

C'est au laboratoire de la *Royal Institution*, que Faraday trouva les moyens de manifester son génie.

Comparés à nos réalisations modernes, ce laboratoire de l'institution était vraiment pauvre mais, pour l'époque, il était remarquable.

Faraday put se procurer, d'une manière ou de l'autre, les meilleurs appareils connus de son temps.

Ces salles, tranquilles et suffisamment vastes, lui permirent de combiner et d'exécuter ses expériences.

Bien que la réunion d'un grand talent et de facilités matérielles exceptionnelles, permette naturellement d'attendre un bon rendement, le fait que Faraday ait pu accomplir tant de choses est pour nous un sujet perpétuel d'admiration.

Les fruits de ses recherches semblaient tomber d'eux-mêmes entre ses mains. Mais pourquoi sa part dans la moisson a-t-elle été si grande ? La récolte, sans nul doute, n'était pas aussi aisée à faire qu'elle le paraît. Il avait une vision aiguë de ses buts lointains et il était assuré de l'existence d'une voie qui devait l'y mener.

Il apercevait la direction générale dans laquelle il devait avancer et sa vigilance, bien vite enthousiaste, lui permettait de profiter de toute indication, quelque insignifiante qu'elle fût, lui prouvant qu'il était sur le bon chemin.

Il appliqua ainsi, à nombre de recherches importantes, son génie et son habileté extraordinaires, mais jamais peut-être au même

degré que quand il entreprit, le 29 août 1831, celle qui, en quelques années de merveilleux travaux, posa les fondements de la théorie et de la pratique de l'électromagnétisme.

Un compte rendu de la collaboration apportée par Faraday à la *Royal Institution* ne serait pas complet si on n'y relevait la facilité remarquable d'exposition qui, autant que la valeur intrinsèque de ses recherches, lui assurait un public mondial. Il existe encore quelques survivants qui, ayant entendu ses conférences, témoignent du charme et de la grande simplicité de sa parole. Ses écrits resteront, pour aussi longtemps que l'on s'intéressera à la science et à son histoire, des modèles de lucidité, de sincérité et de force d'esprit.

Ainsi, grâce à la *Royal Institution* il a pu, non seulement accomplir son œuvre, mais aussi la faire connaître au monde.

Le concours de l'Institution et de l'homme se révéla singulièrement satisfaisant et fécond.

LES ORIGINES DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

CE QUE L'INDUSTRIE DOIT A LA SCIENCE

L'unité des Phénomènes naturels,

par Sir Ambrose Fleming, F. R. S.

Nombreuses ont été, dans le passé, les inventions et les découvertes qui, à leur apparition, semblaient être bien peu de chose, mais que leurs conséquences ultérieures ont révélées avoir été sensationnelles. L'invention, par James Watt, du condenseur indépendant a transformé la vieille machine de Newcomen en un moteur primaire très économique et a ouvert, dans l'histoire, le règne de la machine à vapeur. De même, aucune des découvertes initiales qui devaient nous procurer, avec le temps, la télégraphie électrique, la photographie, le téléphone, le microphone, la lampe électrique à incandescence, l'accumulateur, le cinématographe, la télégraphie sans fil, la valve thermoionique et le récepteur de télégraphie sans fil, ne parut tout d'abord avoir une grande valeur et quelques-unes d'entre elles furent même raillées comme inutilisables. Néanmoins, toutes ont servi de fondement à de grandes industries qui font vivre maintenant d'innombrables personnes.

Il est une découverte scientifique, remarquable entre toutes par ses conséquences lointaines qui nous mettent à même de mieux tirer parti des grandes énergies de la nature pour le bénéfice de l'humanité. C'est celle de l'induction des courants électriques, accomplie par Faraday dans les laboratoires de la *Royal Institution* de Grande Bretagne, à Londres, le 29 août 1831.

Ce résultat de premier ordre, dont personne n'aurait probablement à l'époque qui l'a vu naître, donné un shilling, lui a permis de trouver, grâce à ses travaux ultérieurs, un nouveau procédé de production des courants électriques par le déplacement relatif d'un aimant et d'une bobine de fil. La découverte, une fois complétée, stimula la pensée de beaucoup d'ingénieux inventeurs et nous apporta, avec le temps, la dynamo, l'alternateur, le transformateur, la bobine d'in-

duction, pierres angulaires sur lesquelles a été élevé l'imposant édifice de l'électrotechnique.

Faraday lui-même ne porta jamais son attention sur les applications dites utilitaires de ses travaux scientifiques ; son esprit se concentrait entièrement sur la pénétration toujours plus profonde des secrets de la nature; sur l'analyse, l'exploration, l'explication des phénomènes de la physique et de la chimie et, en particulier, de ceux groupés sous les noms d'électricité et de magnétisme. Pendant près de 40 ans, il se rendit, chaque jour ouvrable, à son laboratoire pour y interroger la nature par quelque nouvelle expérience et jamais il ne s'arrêta avant d'avoir obtenu, par oui ou par non, une réponse suffisante à sa question.

Le grand monument qu'il a élevé dans le domaine des recherches électriques est constitué par les trois volumes de ses « Experimental researches in electricity » où il relate les travaux fructueux qu'il poursuivit avec ardeur pendant un quart de siècle.

Premières expériences

Faraday fut guidé, dans toute son œuvre, par sa foi profonde en l'unité des phénomènes naturels et, en particulier, par l'idée que les faits observés en un domaine, trouvent leur parallèle dans quelque autre.

En électricité, nous avons affaire, soit à l'électricité au repos, sous forme de charges réparties à la surface des conducteurs, soit à l'électricité en mouvement, appelée courant életrique et traversant leur masse. Il savait que, lorsqu'une charge électrique est au repos sur un conducteur, elle attire, sur les autres conducteurs qui l'entourent, une charge égale, de signe opposé. Ce phénomène était appelé induction électrique et, ultérieurement, Faraday montra l'égalité exacte de ces deux charges, inductrice et induite. Il est, en fait, impossible de créer une charge d'électricité d'un signe quelconque, positif ou négatif, sans créer en même temps une charge égale de signe opposé.

Faraday se posa alors la question de savoir si un effet semblable ne pouvait être reconnu aussi dans le cas des courants électriques et si un courant ne pourrait en induire un autre dans un conducteur adjacent.

En novembre 1825, il tendit parallèlement deux longs fils. Les extrémités de l'un d'eux étaient fixées à un galvanomètre, instrument des-

tiné à révéler le passage d'un courant électrique par son action sur une aiguille aimantée suspendue. L'autre fil était relié à une batterie de piles voltaïques. Mais, aussi bien le 2 décembre 1825 que le 22 avril 1828, il dut noter que l'expérience ne donnait « aucun résultat ».

C'est souvent un rien qui, dans une expérience, sépare l'insuccès de la réussite. Dans le cas présent, il a pu arriver qu'un fil ait été réuni à la batterie avant que l'autre l'ait été au galvanomètre.

En août 1831, Faraday recommença l'attaque et exécuta l'expérience décisive qui devait immortaliser sa mémoire. Il enroula sur un anneau de fer, de 15 cm de diamètre, deux circuits de fils de cuivre recouverts chacun d'un ruban de coton destiné à les isoler. Les extrémités de l'un des fils furent reliées comme auparavant au galvanomètre, celles de l'autre, à la batterie voltaïque. Il reconnut qu'il ne se produisait pas de courant électrique permanent dans le circuit du galvanomètre, mais il remarqua qu'au moment où l'on envoyait le courant de la batterie, l'aiguille du galvanomètre était déviée, soit d'un côté soit de l'autre, indiquant le passage d'un courant temporaire dans le second circuit ; et que lorsque le courant de la batterie cessait, l'aiguille déviait de l'autre côté, indiquant un courant de sens opposé.

Faraday appelait ces courants de courte durée les courants induits « inverse et direct ». Il savait bien que, tant que le courant de la batterie passait, l'anneau de fer était aimanté et ceci le conduisit, le 24 septembre 1831, à tenter une autre expérience ; il plaça une barre de fer droite dans un tube de carton, à l'extérieur duquel il enroula une certaine longueur de fil isolé relié, comme auparavant, au galvanomètre. Il appliqua alors, sur les extrémités de la barre de fer, les pôles opposés de deux barreaux aimantés et il reconnut qu'il se produisait un courant induit au moment où il approchait ou éloignait les aimants.

Le 1er octobre, supprimant complètement le fer, il enroula autour d'un bloc de bois deux fils isolés l'un de l'autre. Il découvrit alors que s'il lançait ou supprimait un courant électrique dans un des circuits qu'il appelle « primaire », il créait au même instant un courant temporaire dans le circuit « secondaire ».

Finalement, le 17 octobre, Faraday imagina une expérience décisive qui lui révéla la vérité tout entière. En enroulant autour d'un tube une longueur de 70 m de fil de cuivre isolé dont il relia les extrémités à son galvanomètre, il découvrit que le simple fait d'enfoncer un barreau d'acier aimanté dans le tube ou de l'en retirer, créait momenta-

nément des courants induits de directions opposées. Il avait dès lors en main la clef du phénomène complet.

Il se rendit compte qu'un barreau d'acier aimanté est entouré comme d'une atmosphère, de ce que nous appelons maintenant le champ magnétique et que ce champ de force est distribué ou disposé en lignes courbes appelées lignes de forces, partant des pôles de l'aimant ou y aboutissant. Il lui apparut clairement que, lorsqu'on enfonce l'aimant dans la bobine de fil, ses lignes de force magnétique coupent transversalement les spires du fil et que c'est cette action qui crée le courant induit.

Partant de là, il imagina une expérience finale et concluante qui lui permit de produire un courant continu ou ininterrompu par le simple déplacement d'un conducteur entre les pôles d'un aimant. Il monta sur un axe, à la manière d'une meule, un disque circulaire de cuivre, et il appliqua deux lames métalliques flexibles, respectivement sur le bord extérieur et sur l'axe du disque ; ces balais, comme nous les appelons, étaient reliés par des fils au galvanomètre et le disque était disposé de manière qu'une portion de sa surface passât entre les pôles d'un aimant en fer à cheval, de manière à être traversée par les lignes de force. Quand il faisait tourner le disque, un courant continu passait dans le galvanomètre.

C'est ainsi que, pour la première fois, Faraday réalisa une machine qu'il appela magnéto-électrique et qui était l'ancêtre de toutes les dynamos actuellement construites.

Faraday fit alors rentrer l'ensemble de ses nouvelles découvertes dans ce principe général et simple : lorsqu'un corps conducteur de l'électricité, par ex. un fil ou une barre de cuivre, est déplacé dans un champ magnétique de manière à en couper les lignes de force, il devient le siège d'une force électro-motrice proportionnelle à la force du champ et à la vitesse à laquelle il le coupe. Nous pouvons nous figurer le conducteur, ou le fil. comme une épée avec laquelle on couperait des fils tendus au travers d'une salle ; ces fils représentent les lignes de force magnétique, l'épée est le conducteur et, quand elle tranche les fils, elle devient le siège d'une action qui fait passer l'électricité dans la lame de la poignée vers la pointe, ou vice versa. Le seul point faible de cette comparaison est que les lignes de force coupées se rétablissent dès que l'épée a passé, tandis que des fils matériels restent tranchés.

Faraday a exécuté tous ces travaux merveilleusement féconds en dix jours environ, non consécutifs, d'expérimentation ; et, le 20 novembre

1831, il présentait ces résultats à la *Royal Society* de Londres dans une communication qui est une des œuvres classiques de la science électrique.

Le charme de ses écrits est qu'on y trouve tous les détails de ses pensées et de ses travaux. Il y parle de ses échecs autant que de ses réussites, en sorte que le lecteur est tenté de croire qu'il lui suffirait d'avoir accès à un laboratoire pour pouvoir y faire aussi des découvertes et pénétrer dans le cercle magique de ceux à qui il a été donné d'élargir les frontières des connaissances humaines.

Immédiatement après que Faraday eut fait connaître ses découvertes, des inventeurs commencèrent à les appliquer. H. Pixii, en 1833, imagina une machine qui engendrait un courant électrique alternatif par la rotation d'un aimant permanent en fer à cheval devant une paire de bobines de fil appelées « armature ». Une année plus tard, il ajouta à sa machine un dispositif appelé « commutateur », qui permettait d'engendrer un courant continu.

En 1833, J. Saxton et, en 1835, E. M. Clarke, firent des machines magnéto-électriques dans lesquelles l'aimant était fixe, tandis que l'armature tournait devant les pôles. En 1849, une machine semblable à aimants multiples fut construite par Nollet et une autre par Holmes ; celle-ci, actionnée par une machine à vapeur, fut utilisée plus tard au phare de Southforeland pour alimenter une lampe électrique à arc. Puis, en 1856, Werner von Siemens inventa l'armature en tambour ; en 1860, Antonio Pacinotti l'armature en anneau, réinventée par Z. Gramme en 1870. En 1850, H. Wilde introduisit l'emploi des électro-aimants destinés à créer le champ. Ces électro-aimants étaient excités par une petite machine magnéto séparée ; mais, en 1867 Wilde, Siemens et Wheatstone découvrirent, indépendamment les uns des autres, que les électro-aimants pouvaient être excités en partie ou en totalité par le courant produit dans l'armature et ils réalisèrent ainsi la machine auto-excitatrice à laquelle le nom de « dynamo » fut dès l'abord donné pour indiquer qu'elle transformait l'énergie mécanique en énergie électrique.

Depuis cette époque, de nombreux perfectionnements, dus à Heffner-Altenech, C. F. Brush, Elihu Thomson, T. A. Edison, Varley, R. E. Crompton, J. Hopkinson et d'autres, conduisirent à la dynamo à courant continu et à auto-excitation actuellement connue. D'autres, comme S. de Ferranti, W. Mordey, Westinghouse et Ganz nous donnèrent l'alternateur moderne produisant du courant alternatif ; puis

N. Tesla et E. Dobrovolsky inventèrent les alternateurs à deux et à trois phases tels qu'on les emploie actuellement.

Il nous faut voir maintenant comment l'anneau de fer de Faraday, entouré de deux bobines de fil isolé a pris, peu à peu, la forme de la bobine d'induction et du transformateur d'aujourd'hui.

Partant de l'expérience de Faraday exécutée avec deux circuits de fil de cuivre isolé enroulés sur une tige de fer, Callan, Sturgeon, Clarke, Bachhoffner et Henley réalisèrent des bobines d'induction à double enroulement avec noyau, d'abord en fer massif, puis plus tard en un faisceau de fils de fer.

Ruhmkorff, suivant l'exemple de Callan, fit de grosses bobines d'induction dans lesquelles le circuit secondaire était une très longue bobine de fil fin. Lorsqu'on interrompait brusquement le courant primaire, le circuit secondaire devenait le siège d'une force électromotrice assez considérable pour que de longues étincelles jaillissent entre les extrémités de ce secondaire.

Ritchie et Apps firent plus tard des bobines d'induction très puissantes, donnant des étincelles de plus d'un mètre de long. L'application de ces bobines à étincelles s'imposa au début de la télégraphie sans fil.

A la bobine d'induction succéda le transformateur, avec cette principale différence que le noyau de fer de celui-ci constituait un anneau fermé et que le courant primaire produit par des alternateurs remplaçait le courant continu interrompu.

Jablokoff, Gaulard et Gibbs, Zipernowsky, Ferranti, Mordey et beaucoup d'autres, commencèrent à faire des transformateurs à noyau de fer feuilleté.

L'anneau de fer de Faraday fut donc l'ancêtre du transformateur moderne ; mais cette application n'entraînerait qu'une faible transmission d'énergie par des moyens électriques, tandis que toutes les génératrices de courant continu, autrement dit les dynamos, sont réellement sorties de la première machine magnéto-électrique de Faraday, avec son disque de cuivre tournant entre les pôles d'un aimant.

Il est difficile d'évaluer ce que ces splendides découvertes de Faraday ont représenté pour le monde. S'il n'existait ni dynamos, ni alternateurs, ni transformateurs, il n'y aurait ni éclairage électrique, ni transport d'énergie à grande distance, ni traction électrique, ni rien de ce qui constitue la part la plus importante des grandes industries basées sur l'électro-chimie.

L'ensemble des installations de production d'électricité dans le monde, par dynamos ou par alternateurs, représentait croit-on, en 1929, une puissance totale de 99 200 000 kW. La production annuelle de ces installations est évaluée, pour la même année, à environ 282 milliards d'unités du Board of Trade. Si le prix par unité est évalué à 50 centimes français seulement, cette production représente plus de 100 milliards de francs.

LES STATIONS CENTRALES MODERNES

LA TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE

L'Aube d'une ère nouvelle

par W. W. LACKIE

MICHEL FARADAY découvrit que, si l'on approche un aimant d'une bobine de fil, celle-ci est parcourue par un courant électrique qui cesse avec le mouvement de l'aimant.

Toutes les génératrices d'électricité sont construites sur ce principe et, dans une centrale moderne, d'énormes aimants tournent en s'approchant ou s'éloignant sans cesse d'une bobine de fil.

Lorsqu'il fit sa grande découverte, FARADAY ne disposait d'aucun moyen d'évaluer, ni l'énergie nécessaire pour faire tourner les aimants, ni la quantité d'électricité qu'ils engendraient, les instruments de mesure indispensables n'existant pas à cette époque.

Une station centrale d'électricité est une fabrique transformant en énergie électrique l'énergie du charbon ou de tout autre combustible. Lord KELVIN a démontré théoriquement que l'énergie ne peut être créée, mais peut seulement changer de forme.

En d'autres termes, nous ne pouvons forcer la nature à augmenter le montant total d'énergie existant dans l'univers. L'énergie peut être définie comme le pouvoir de produire du travail ; les combustibles, (y compris l'huile et le pétrole), les aliments, le vent, les rayons solaires, les marées, sont des sources d'énergie ; le mouvement, tel que celui d'un volant ou d'un boulet de canon, l'eau accumulée à un niveau surélevé, l'électricité, un ressort de montre enroulé, les radiations, sont des formes de l'énergie.

Pour une station centrale moderne, la source d'énergie est dans le charbon. Imaginer et perfectionner les moyens de transformer en énergie électrique cette énergie du charbon, tel est le domaine propre où l'habileté de l'ingénieur doit légitimement s'exercer.

Malheureusement, il n'est pas possible d'obtenir de transformation directe, il est nécessaire de passer par une série de transformations in-

termédiaires. de rendement plus ou moins élevé. Le charbon brûle dans un foyer ; sa chaleur produit, dans une chaudière, de la vapeur à haute pression ; cette vapeur est amenée à une turbine, où son énergie se transforme en énergie mécanique ; l'énergie mécanique de la turbine entraîne la génératrice qui débite de l'énergie électrique. Le rendement d'une station centrale est donc le rapport entre le nombre d'unités calorifiques équivalant à l'énergie électrique débitée et le nombre d'unités calorifiques contenues dans le charbon consommé.

Ce rapport est évalué en kilogrammes de charbon par unité engendrée. Aujourd'hui, les meilleures stations centrales consomment 600 g de charbon par unité électrique produite. Si ces 600 g donnent en brûlant 3 780 grandes calories, l'équivalent calorifique d'une unité électrique étant de 859 grandes calories, le rendement d'une station centrale moderne ressort à environ 23 pour cent, autrement dit 23 pour cent de la chaleur contenue dans le charbon brûlé sous la chaudière sortent de la station centrale sous forme d'énergie électrique. Il est probable que ce chiffre pourra être augmenté.

Dans quelques stations centrales, le charbon est amené par eau, dans les autres, par chemin de fer. Une benne, main géante, plongeant dans la cale du vapeur ou dans le chaland chargé de charbon, y prend à chaque poignée une ou deux tonnes pour les mettre à quai ; là, le charbon tombe sur un convoyeur qui le porte, soit directement aux trémies au-dessus des chaudières, soit dans un parc à charbon pour être employé plus tard. Lorsque le charbon arrive par rails, le wagon est amené à une plate-forme mobile ; un mécanisme dissimulé l'élève et bascule le charbon sur un convoyeur qui le conduit à l'endroit voulu.

Un à un, les wagons arrivent à la plate-forme mobile, les wagons vides passent sur les voies de garage.

La consommation journalière pouvant être de 2 000 à 3 000 t, les dispositifs de déchargement et d'emmagasinement du charbon fonctionnent sans arrêt au moins 8 heures par jour ouvrable. La nuit et pendant les mois d'hiver, bennes et convoyeurs reprennent le charbon au parc et le déposent sur d'autres convoyeurs qui le transportent aux trémies placées sur les chaudières.

Dans la chambre de chauffe d'une centrale moderne, l'absence de main-d'œuvre est impressionnante. Dans une station de 200 000 kW, il suffit de trois ou quatre hommes pour servir plusieurs vastes chaudières. La chaufferie elle-même a cessé d'être un sombre trou à rin-

gards ; bien éclairée, elle ne montre plus la crasse, conséquence ordinaire d'une grande consommation de charbon. Celui-ci tombe, par gravité, sur des tobogans qui le conduisent des trémies supérieures aux grilles placées sous les chaudières ; ces grilles, en forme de chaînes sans fin, avancent lentement, portant le charbon cru qui passe rapidement à l'incandescence, puis elles déchargent les cendres en arrière de la grille dans une trémie spéciale, d'où elles sont transportées à une trémie extérieure pour être évacuées.

Dans quelques stations centrales cependant, le charbon, au lieu d'être brûlé à l'état où il arrive, est d'abord broyé en poudre extrêmement fine; c'est le procédé dit de pulvérisation; il est ensuite injecté dans la chambre de combustion par des brûleurs d'où il sort en longue flamme. Sur chaque chaudière, des appareils divers indiquent les conditions de la vaporisation et enregistrent la quantité de charbon brûlé par heure.

Dans la salle des turbines, on est frappé par l'absence apparente de machines tournantes; turbines et alternateurs sont enfermés dans des enveloppes métalliques; 4 ou 5 turbines pouvant fournir de 50 000 à 150 000 ch, sont disposées symétriquement le long de la salle. 4 ou 5 hommes surveillent le fonctionnement de ces énormes machines, qui tournent avec un minimum de bruit et de poussière. Des manomètres et des instruments divers indiquent ce qui se passe à l'intérieur ; des appareils de signalisation mécanique et des téléphones mettent constamment les surveillants en rapport avec l'ingénieur qui, de la salle du tableau, placée souvent loin de celle des machines, dirige l'exploitation de la Centrale.

Au-dessous du sol de la salle des turbines, se trouvent d'énormes condenseurs cylindriques. Après avoir travaillé dans la turbine, la vapeur est refroidie et condensée, puis des pompes renvoient aux chaudières l'eau condensée. Pour effectuer cette condensation, des pompes doivent envoyer, dans les tubes de refroidissement traversant les condenseurs, des volumes d'eau considérables. Disposer d'une grande quantité d'eau froide est donc considéré comme une nécessité absolue pour une station centrale moderne; lorsqu'on ne peut s'en procurer dans une rivière ou un canal voisins, il est nécessaire d'établir des tours de réfrigération.

Nous arrivons maintenant à la salle de contrôle. Là aussi, l'absence de bruit est remarquable. Le long de trois des côtés de la chambre sont dressés des panneaux d'ardoise montant jusqu'à 3 m du sol. Il y a un panneau par générateur et un par feeder transportant l'éner-

gie électrique hors de la centrale. Sur chaque panneau, des appareils indiquent l'intensité et la tension du courant : des compteurs enregistrent le nombre de kilowatt-heures fournis par les génératrices ou allant chez les abonnés. Cette salle de contrôle ou de commande constitue le cœur et les poumons de la station centrale. Un diagramme, fixé au-dessus des panneaux, reproduit les connexions établies entre les génératrices et les feeders; des disques de signalisation automatique indiquent si les interrupteurs sont ouverts ou fermés; des lampes rouges, vertes et blanches apprennent à l'opérateur quelles sont les machines ou les feeders en charge et si tel interrupteur est ouvert ou fermé.

Des signalisations mécaniques et des téléphones permettent à l'ingénieur du contrôle de tenir constamment le surveillant de la chambre de chauffe et les agents de la salle des machines au courant de la charge et de leur donner l'ordre de faire fonctionner ou d'arrêter une turbine ou une chaudière suivant les variations de la demande.

Aujourd'hui, les interrupteurs de commande de la distribution sont placés dans un bâtiment séparé, voisin de la salle des machines et sont actionnés par une transmission à distance depuis la salle de contrôle.

Sur le quatrième mur de la salle de contrôle est une carte du secteur alimenté par la Centrale. Des lignes y représentent les feeders rayonnant depuis la Centrale jusqu'aux nombreuses sous-stations. On y voit encore des disques ou de petites lumières indiquant si un feeder est « en charge ou hors charge » et, au cas où un feeder est en réparation, quels sont les autres passages possibles de l'énergie vers l'une quelconque des sous-stations.

Des relevés sont faits continuellement par les agents durant 24 heures par jour et 365 jours par an. Pour chaque période de 8 heures, l'ingénieur du contrôle est à même de connaître et de totaliser les poids de charbon consommé et de vapeur produite, les unités d'énergie électrique engendrées et livrées, le rendement de l'usine exprimé en kilogrammes de charbon par kilowatt-heure livré.

De minuit à 7 heures du matin environ, la production, à peu près constante, correspond à l'énergie consommée pour l'éclairage des rues, par les usines à travail de nuit et par la presse quotidienne. A 7 heures du matin, une grande partie de la consommation de nuit cesse ; elle est remplacée par celles des bureaux, des magasins et des usines à travail de jour. Il en résulte que, pendant les mois d'été, la production de la Centrale atteint graduellement le triple de la

production de nuit, puis se maintient à peu près constante jusqu'à 19 h avec une réduction de courte durée, au moment du repas de midi. Pendant les mois d'hiver, la consommation est à peu près quatre fois celle d'été, avec une pointe de charge marquée entre 15 et 18 heures.

Une station moderne, avec son réseau rayonnant de câbles, permet de fournir sur un territoire étendu l'énergie demandée pour tous usages. Il n'est plus nécessaire qu'un industriel consommateur d'énergie établisse son usine dans un district surpeuplé. Il prend l'énergie dont il a besoin à la grande centrale la plus proche et il ne vicie plus l'atmosphère.

Il n'est plus besoin d'élever des forêts de cheminées ; les travailleurs peuvent habiter et vivre dans l'air pur et dans la propreté, qui passaient jusqu'ici pour un apanage des régions non industrialisées. Les petites industries et les petits ateliers ruraux sont aussi des consommateurs d'énergie et nous sommes amenés à constater que la Centrale moderne constitue la première condition pour l'établissement des ateliers loin des districts congestionnés de nos villes. L'électricité s'applique également bien aux besoins des grands et des petits consommateurs. Une même source d'énergie pourra, au même moment, alimenter des laminoirs absorbant plusieurs milliers de chevaux et le moteur, d'un dixième de cheval, qu'emploie le dentiste.

La fourniture de courant par une station centrale présente beaucoup d'avantages. L'électricité peut être en effet facilement transformée avec le maximum de rendement en presque toute autre forme d'énergie.

La première application de l'électricité et qui nous est encore la plus familière, a été l'éclairage. Elle a révolutionné celui des rues. Dans les théâtres, tous les effets de scène, aujourd'hui si merveilleusement réalisés, ont été rendus possibles par son emploi. L'intensité de l'éclairement dans les magasins, les boutiques, les restaurants n'est pas comparable à ce qu'elle était avant l'électricité. Celle-ci a fait faire un pas énorme au confort et à la tenue de nos intérieurs. Les maîtresses de maison n'apprécient pas seulement la propreté de la lumière électrique, elles font encore appel à l'électricité pour le repassage, la cuisine, les nettoyages, le lavage du linge, le chauffage de l'eau courante, tout en s'affranchissant de la saleté et de l'ennui causés par la manipulation du charbon, l'enlèvement des cendres, le ramonage des cheminées. L'agriculteur commence à se rendre compte des possibilités que lui offre l'électricité.

Sur les lignes de chemin de fer électrifiées, les voyageurs apprécient la propreté et la douceur du roulement, et les trains supplémentaires que permet toujours l'électrification. Les stations centrales modernes sont à même de satisfaire à toutes les demandes que pourront leur faire, une fois les grandes lignes électrifiées, les compagnies de chemin de fer et celles-ci s'éviteront ainsi la dépense et la peine de bâtir et d'exploiter des stations centrales pour leur usage exclusif.

Un des avantages de la station centrale appelée à fournir des charges diverses aux différentes heures du jour, est que chaque unité génératrice de la station fait le travail d'un nombre au moins triple d'unités qu'il aurait fallu installer si chaque consommateur avait eu sa propre usine électrique, ce qui se traduit par une économie de capital et une réduction correspondante du prix de la fourniture.

De plus, dans la Centrale moderne, le charbon est brûlé dans les meilleures conditions économiques sous la surveillance d'ingénieurs spécialisés dans les questions de chauffe ; il en résulte que l'on consomme par kilowattheure moitié moins de charbon que si chaque consommateur avait son usine ; le charbon peut être brûlé et les gaz de combustion traités de manière à supprimer toute émission de fumée ou de gaz délétères. On a estimé que l'on brûle, sous les chaudières individuelles, deux fois autant de charbon et sur les grilles domestiques, six fois autant qu'il n'est nécessaire pour le résultat cherché.

On brûle annuellement 40 millions de tonnes dans les foyers domestiques d'Angleterre ; les produits de la combustion se déversent dans l'atmosphère qu'ils souillent au détriment de la santé publique, de la vie des plantes, d'une foule de marchandises, pour ne rien dire du gaspillage résultant de la fourniture de porte en porte de petites quantités de charbon et de l'enlèvement des cendres qui s'en suit, toutes choses que l'emploi de l'électricité peut faire disparaître.

La Centrale Electrique moderne nous ouvre l'ère de l'électricité ; nos travaux étant désormais accomplis par cet agent propre et mobile, nous verrons disparaître la malpropreté, l'air pur et la lumière du soleil seront rendus à nos villes, au plus grand profit de notre santé, de nos loisirs et de notre confort.

LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE

EXPÉRIENCES SUR LES CONDENSATEURS

Les molécules et leurs charges,

par le Professeur P. Debye

En 1837, alors que Faraday commençait à méditer sur les forces électriques et sur la manière dont elles se transmettent d'un point à l'autre de l'espace, la plupart des physiciens contemporains, s'ils avaient connu ses préoccupations, les auraient considérées comme un bien futile début. La loi de Coulomb était solidement établie ; pour pouvoir en calculer les forces, il suffisait de connaître les charges et leur distance, exactement comme pour les planètes soumises à la gravitation.

Cette conviction était générale et personne ne soupçonnait que le milieu séparant les charges pût jouer un rôle quelconque, sauf celui d'isolant empêchant les charges de se dissiper.

Mais l'action à distance faisait horreur à Faraday ; aimant à se faire une claire vision des choses, il imaginait l'action électrique comme une propagation progressive d'une charge à l'autre.

Il est bien certain que si le mode de propagation est tel, il devra dépendre de la substance qui lui servira de véhicule ; en se plaçant à ce point de vue, Faraday fut tout naturellement conduit à faire des expériences sur l'influence possible de l'isolant dans la distribution du champ électrique.

Il disposait de deux condensateurs sphériques aussi identiques que possible, constitués chacun de deux sphères concentriques séparées d'environ 12 mm. Il se convainquit d'abord que, s'il chargeait seulement la sphère intérieure de l'un des condensateurs et mettait ensuite la sphère intérieure du second en contact avec la première, il enlevait à celle-ci exactement la moitié de sa charge totale. Mais il introduisit ensuite entre les sphères d'un des condensateurs, un isolant, du soufre par exemple et, répétant l'expérience avec ce nouveau dispositif, il fut conduit à sa découverte. La charge ne se partageait

plus en deux parties égales, mais le condensateur contenant la matière isolante en prenait toujours la plus grande part. FARADAY mesurait ces charges avec la balance de torsion de COULOMB. Cette expérience était donc quantitative et il put caractériser, de suite, l'influence de l'isolant par une constante spécifique qu'il appela la « capacité inductive spécifique », et qui, maintenant, est toujours désignée sous le nom de « constante diélectrique ».

Nous savons aujourd'hui que CAVENDISH avait découvert, longtemps auparavant, la capacité inductive spécifique, mais ses notes n'avaient pas été publiées du temps de FARADAY.

FARADAY chercha alors à se représenter la manière dont on peut se figurer l'effet inductif d'un isolant. Les substances qu'il employait étant isolantes, aucune charge ne pouvait y passer d'une molécule à l'autre mais, dans l'intérieur de chaque molécule, un déplacement de charge est possible.

S'il en est ainsi, sous l'influence du champ électrique, toute molécule se polarisera, prenant une charge positive à une de ses extrémités, une charge négative à l'autre et toutes les molécules s'orienteront, avec leur charge positive dirigée vers la plaque du condensateur chargée négativement.

Telle est la théorie de FARADAY qui met en évidence la façon dont l'isolant réagit sur les plaques du condensateur, pour attirer à leur surface une charge supplémentaire. « Un isolant, dit-il, se comporte de la même façon qu'un grain de matière que l'on introduirait entre les plaques du condensateur et qui resterait isolé des grains environnants ».

Par là nous sommes amenés, en partant de la constante diélectrique macroscopique, à considérer la molécule et ses propriétés. La mobilité des charges ne serait-elle pas très différente dans des molécules différentes et cette mobilité ne serait-elle pas liée à leur structure chimique ?

FARADAY pose la question et, comme toujours, il essaie d'obtenir la réponse par de nouvelles expériences.

Il remplit successivement l'espace séparant les deux sphères de l'un de ses condensateurs avec des gaz de propriétés chimiques très différentes. Il s'efforce à plusieurs reprises de déceler des différences avec la charge prise par la sphère intérieure du second condensateur quand il est rempli d'air. Mais ici il échoue. Sa méthode n'est pas assez sensible.

Il se pose une seconde question. La température n'a-t-elle pas d'in-

fluence sur la polarisation ? Il essaie l'air chaud et l'air froid ; il échoue encore.

Il se pose une troisième question : la polarisation d'une molécule ne varie-t-elle pas suivant la direction ? Il prend des cristaux dont les molécules ont une orientation fixe et il cherche à relever des différences de capacité spécifique inductive suivant diverses directions. Il note que dans une expérience il s'est manifesté une différence mais que, dans les autres, aucun effet n'a pu être décelé.

Toutes ces expériences, bien qu'elles n'aient pas donné de résultats positifs, illustrent magnifiquement les dons prophétiques de Faraday. C'est, en effet, précisément cette sorte de questions qui a joué un rôle prédominant dans le développement ultérieur du sujet. Il est vrai que la mobilité des charges dans une molécule est beaucoup plus petite que l'image du grain chargé ne semble le suggérer. De plus, nous savons maintenant que les molécules sont, pour la plupart, en permanence, positives d'un côté et négatives de l'autre et peuvent, par suite, créer un effet d'induction par leur orientation seule, comme de petites aiguilles aimantées. Le point important est toutefois que Faraday ait eu très distinctement l'intuition que la capacité inductive spécifique devait être intimement liée à la structure atomique de la molécule.

C'est de ce pressentiment que tout le travail effectué jusqu'à l'heure actuelle sur les constantes diélectriques, a apporté une glorieuse justification.

LE DÉVELOPPEMENT DES COMMUNICATIONS SANS FIL

AUGMENTATION PROGRESSIVE DE LA PORTÉE

Accroissement rapide de la radiodiffusion

par le Marquis MARCONI

La télégraphie sans fil peut faire, à bon droit, remonter son origine jusqu'à l'époque de MICHEL FARADAY, car ce fut sa découverte de 1830, montrant qu'il n'était pas nécessaire que deux circuits électriques fussent en contact physique direct pour que l'énergie électrique passât de l'un à l'autre, qui appela l'attention sur le milieu séparant ces deux circuits électriques, milieu dont le rôle est si grand dans les communications sans fil.

Son importance fut de nouveau mise en lumière quand, en 1837, FARADAY montra, pour la première fois, que la charge communiquée à un condensateur est localisée, non sur les plaques conductrices, mais dans le milieu isolant qui les sépare.

Il chercha alors à expliquer cet effet, qui se manifeste dans une matière solide comme le verre, ou gazeuse comme l'air, par la conception d'un champ électrostatique constitué de tubes de force. L'étude théorique de CLERK MAXWELL, sur le mouvement de ces tubes de force dans l'éther, milieu hypothétique de texture extrêmement fine emplissant tout l'espace comme aussi les intervalles entre les molécules d'air, aboutit à sa magistrale « Théorie de l'électromagnétisme » qu'il publia en 1865 ; il démontra l'existence indépendante, dans l'espace, de boucles fermées ou tubes de force constituant les composantes élémentaires des ondes de télégraphie sans fil.

HEINRICH HERTZ démontra, en 1888, l'existence de ces ondes libres qu'il produisait par la décharge en étincelles d'un condensateur électrique ; parmi les procédés employés principalement à bord des navires, ce dernier a survécu jusqu'à maintenant, avec de grands perfectionnements d'ailleurs, portant, soit sur les circuits électriques, soit sur la méthode opératoire.

HERTZ, au moyen de réflecteurs paraboliques en métal, concentrait les ondes sur un trajet donné entre le transmetteur et le récepteur ; les longueurs d'ondes employées variaient de 70 cm à 6 m.

Quand je commençai mes recherches à Bologne, dans l'intention expresse d'utiliser les ondes électromagnétiques pour télégraphier à travers l'espace et de nouveau en 1895, quand je présentai les premiers appareils pratiques d'exploitation, j'employai de semblables réflecteurs combinés avec un oscillateur à étincelles établi par le Professeur RIGHI ; ceci me permit d'utiliser une longueur d'ondes encore plus courte, d'environ 10 cm, avec un récepteur à cohéreur et un appareil MORSE enregistrant les signaux transmis.

Ce fut avec ces très courtes longueurs d'ondes que je fis ma première démonstration devant le *British Post Office*, en 1896.

La conquête de l'espace

Au cours de mes premières expériences, je parvins à augmenter considérablement la portée des transmissions ou, en d'autres termes, à télégraphier à des distances qui étaient alors considérées comme « grandes » en m'écartant notablement des procédés employés jusqu'alors par HERTZ et ses successeurs; la modification consistait à relier chacun des appareils, transmetteur et récepteur, d'une part à un conducteur aérien, d'autre part à la terre.

Je pus ainsi découvrir que la limite de portée des communications croissait très rapidement avec la hauteur au-dessus du sol des conducteurs aériens, ou antennes, en sorte qu'au bout d'un temps relativement court, la télégraphie devint possible sur des distances de 50 km.

Les essais de réflecteurs firent dès lors place à des recherches et à des perfectionnements dans l'emploi des antennes, ce procédé laissant espérer des résultats plus immédiats et les longueurs d'onde employées furent en conséquence portées à 150 m et plus.

L'œuvre de Sir OLIVER LODGE et mon brevet d'accord de 1 900, qui appliquait aux circuits oscillants le principe si important de la résonance, marquent une nouvelle étape franchie en télégraphie sans fil ; dès lors, grâce à l'accroissement progressif de la puissance des appareils, de la hauteur des antennes et des longueurs d'onde utilisées, commença la conquête de l'espace, qui aboutit à l'établissement des réseaux actuels d'intercommunications mondiales.

Dans le présent article, je ne puis rappeler que quelques-uns des

événements et progrès les plus notables qui se sont succédé depuis cette époque.

En décembre 1901, au moyen de stations spécialement établies, je pus, pour la première fois, transmettre et recevoir des signaux télégraphiques à travers l'Océan Atlantique, entre Poldhu, en Cornouaille, et Saint John de Terre-Neuve, sur une distance de près de 3 000 km.

Ce résultat, qui constituait par lui-même une découverte, me confirma dans l'opinion que les ondes électriques ne sont pas arrêtées par la courbure de la terre et peuvent, par suite, se propager à une distance quelconque à la surface de notre planète ; j'avais eu déjà cette idée plusieurs années auparavant et elle avait soulevé une très forte opposition. A ce propos, c'est cependant un plaisir pour moi de rappeler l'aide que j'ai rencontrée auprès du journal « *Le Times* », qui m'a toujours assuré, pendant la longue période de discussions qui suivit mes premiers essais transatlantiques, un appui et des encouragements inlassables.

Cette découverte donna une telle impulsion au développement des communications sans fil, qu'un nombre relativement court d'années après la réception de la lettre S par télégraphie sans fil à travers l'Atlantique, tous les pays importants du monde furent munis d'une installation.

La communication avec l'Australie fut réalisée en 1918, quand les premiers messages furent transmis de ma station de Carnarvon, à Sydney, en Nouvelles Galles du Sud, par W. M. Hughes et Sir Joseph Cook. Au début de 1902, au cours d'une traversée sur le paquebot américain « Philadelphie », je reconnus que je pouvais recevoir des messages jusqu'à une distance de 1 200 km le jour et de 3 000 km la nuit.

J'avais découvert ainsi le phénomène, maintenant bien connu, que les signaux de télégraphie sans fil, transmis par ondes de quelques centaines de mètres de longueur peuvent, d'ordinaire, être reçus pendant la nuit à des distances beaucoup plus grandes que pendant le jour.

Dans ces essais, la puissance totale employée pour la transmission était de 12 kW, la longueur d'onde de 40 m et la hauteur d'antenne, de 66 m.

Au cours des années suivantes, le progrès dans les transmissions à longue distance se traduisit par une constante augmentation de la puissance et des longueurs d'onde; enfin, en 1923, le point culmi-

nant de l'ère des ondes longues fut atteint par le *Post Office Britannique*, quand il commença l'installation de la station à ondes longues et à grande puissance de Rugby.

La Compagnie Marconi, en accord avec les gouvernements des Dominions, mit en mains, pour communiquer avec Rugby, des stations d'importance analogue en Australie, en Afrique du Sud et aux Indes ; chacune de ces stations était munie de pylônes d'acier de 250 m comme supports d'antennes et de transmetteurs d'environ 1 000 kW, travaillant sur des longueurs d'onde de 20 000 à 30 000 m.

Les progrès réalisés avec le système d'antennes à ondes longues avaient été si rapides, relativement si faciles et, pourrais-je dire, si théâtraux, que pour de nombreuses années, ils détournèrent complètement des ondes courtes l'attention des chercheurs, ce qui, je crois, est à regretter.

Néanmoins, l'art de la télégraphie sans fil et sa technique avaient accompli des progrès très rapides.

Je repris, en Italie, au début de 1916, une recherche systématique sur les possibilités d'emploi des ondes courtes en radio-télégraphie et en radio-téléphonie et avec l'aide de M. G. S. Franklin, je poursuivis des essais sur un système directif qui fut postérieurement dénommé Beam. (Système à faisceau).

Dès les premiers essais, l'utilisation d'ondes de 2 m permit d'atteindre une portée de 10 km qui fut ensuite augmentée jusqu'à 30 km.

Au cours de quelques essais de téléphonie sans fil en 1919, M. Franklin atteignit une portée de 120 km à travers la mer d'Irlande, avec 15 m de longueur d'onde ; en 1921, une communication téléphonique par réflecteurs, fut réalisée dans les deux sens entre Hendon et Birmingham, sur une distance de 160 km.

La lampe thermo-ionique à 2 électrodes, inventée en 1904 par Sir Ambrose Fleming et la lampe à 3 électrodes, inventée en 1907 par le Docteur Lee de Forest, avaient pris un important développement pendant la grande guerre. Vers 1923, le transmetteur à lampe avait complètement remplacé le transmetteur à étincelles pour presque toutes les communications, sauf quelques exceptions en navigation.

L'introduction du procédé de transmission par ondes entretenues au moyen de lampes, supprima aussi la restriction résultant, pour l'emploi des ondes courtes, de la limitation de puissance qu'imposait le procédé par étincelles ; en 1923, 1924, de soigneux essais de transmission exécutés, entre Poldhu et mon yacht « Electra », en diverses

régions de l'Atlantique et de la Méditerranée et ceux effectués entre Poldhu d'une part, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud et l'Australie de l'autre, me permirent d'établir complètement la possibilité d'employer, pour les communications à longue distance, des ondes inférieures à 90 m, notamment si elles sont dirigées par réflecteurs.

Dans le cours de 1924, je fus amené à découvrir que l'emploi de longueurs d'onde de l'ordre de 32 m permettait la transmission aux plus grandes distances en plein jour. Ces recherches donnèrent des résultats si satisfaisants, qu'au début de 1924, la Compagnie Marconi décida, conformément à mon avis, de ne pas terminer les stations à ondes longues en cours de montage dans les Dominions et de proposer l'établissement de toutes les communications impériales de télégraphie et de téléphonie sans fil, au moyen de systèmes directifs à ondes courtes.

En raison de ces progrès, le Gouvernement anglais conclut, en juillet 1924, une convention avec la Compagnie Marconi pour l'établissement de stations à ondes courtes du Beam system, munies de transmetteurs de 20 kW et devant communiquer avec des stations semblables du Canada, de l'Afrique du Sud, de l'Inde et de l'Australie.

La convention était soumise à la condition qu'il serait fait un essai pendant 7 jours consécutifs de transmission en duplex, comportant 100 mots au moins à la minute, simultanément dans les deux sens, non comprise toute répétition nécessaire à l'exactitude du service et cela pendant 18 heures par jour sur le circuit du Canada, 11 heures par jour sur le circuit de l'Afrique du Sud, 12 heures sur celui de l'Inde et 7 heures sur celui d'Australie.

Ces conditions furent remplies et les stations anglaises furent livrées au *Post Office Britannique*, entre octobre 1926 et juillet 1927 ; les dernières stations d'Empire, Ballan en Australie et Drumondville au Canada, devaient être achevées en juin 1928.

On commença bientôt le service de 24 heures avec des longueurs d'onde comprises toutes dans la bande de 15 à 40 m. L'organisation de la station impériale du Beam System, connue sous le nom d'Empiradio, permit d'établir rapidement un service à trafic intense qui fit une sérieuse concurrence au trafic par câbles.

Ceci conduisit à la constitution, en septembre 1929, de la *Société Anonyme des communications Impériales et Internationales*, qui prit le contrôle de l'Empiradio, des Câbles Impérial et Pacifique,

de la Compagnie MARCONI et de la Société des câbles télégraphiques Orientaux ; cette société centralise actuellement la direction des plus importants services commerciaux de télégraphie sans fil d'Angleterre.

Comme M. RAMSAY MACDONALD le constatait à la Chambre des Communes : « Les Compagnies de câbles connurent de mauvais jours quand la télégraphie sans fil du Beam System put faire l'objet d'une réalisation commerciale ». Le réseau sans fil, qui couvre le monde entier, est partagé entre l'organisation anglaise, la Radio Corporation d'Amérique, le Transradio représentant les intérêts allemands, la Société Radio France et quelques autres groupes importants.

Il est aujourd'hui, à la fois efficace et sans rival.

Tous les réseaux sont reliés entre eux; le service y est maintenu à un haut degré de rendement et de régularité.

Chaque année, le nombre des communications sans fil augmente, en même temps que la difficulté de trouver des longueurs d'onde sur lesquelles les services nouveaux puissent faire passer leurs communications sans interférer avec les services existants.

Du fait que leur propagation n'est pas favorisée par la haute atmosphère, ce qui restreint leur emploi, les ondes électro-magnétiques de 10 m et au-dessous, restent encore disponibles pour un nombre considérable de transmissions. Le Gouvernement italien, qui a récemment ouvert un service entre Rome et la Sardaigne, emploie des appareils établis par mes collaborateurs et travaillant sur onde de 9 m. Lorsque la courbure de la terre ou d'autres obstacles ne s'y opposeront pas, des communications sur longueurs d'ondes encore plus courtes pourront probablement être envisagées. J'ai une grande satisfaction personnelle à constater que, dans mes recherches actuelles sur l'emploi, pour les besoins commerciaux, d'ondes extrêmement courtes, d'un mètre et au-dessous, j'ai repris l'étude de longueurs d'ondes que j'employais lorsque je fis ma première démonstration réussie de télégraphie sans fil, il y a 36 ans.

Dans cette brève revue, l'importance des services entre postes fixes ne doit pas cependant faire oublier l'œuvre très remarquable accomplie dans d'autres domaines par la télégraphie sans fil.

Son emploi systématique dans la Marine Marchande, qui remonte à l'année 1900, où la première installation permanente de télégraphie sans fil fut établie par ma Compagnie sur le vaisseau allemand « Kai-

ser Wilhem Der Grosse », s'étend maintenant à 15 000 navires de la marine mondiale qui sont en communication entre eux et échangent des messages commerciaux ou techniques avec le réseau national de stations côtières des pays maritimes; l'aide précieuse que la télégraphie sans fil apporte à la sécurité en mer est bien marquée par le grand nombre de Radio-Phares, émettant des signaux caractéristiques qui permettent de faire le point aux navires passant à leur portée.

Un des plus récents développements de la télégraphie sans fil est son application à la Navigation Aérienne.

Il y a 11 ans, tout avion anglais volant régulièrement entre Londres et Paris était muni d'un téléphone sans fil; les aérodromes de Croydon Lympne et Pulham étaient équipés en transmetteurs et radiogoniomètres qui leur permettaient d'indiquer aux avions leur position et de recevoir à tout moment les messages que ceux-ci envoyaient en cours de route.

L'utilité d'un tel service, par mauvaise visibilité, ne saurait être surestimée.

Aujourd'hui, tout avion commercial portant des passagers doit, dans le monde entier, être muni d'une installation de télégraphie sans fil et, sur les routes de l'air les plus importantes, des Radio-Phares ont été établis pour permettre aux pilotes de reconnaître un aéroport sans avoir à demander sa position aux stations terrestres.

Je n'ai pas besoin d'ajouter grand'chose au sujet de l'accroissement phénoménal de la Radio-Diffusion, car il est connu de tous.

Le premier concert radio-diffusé eut lieu à Chelmsford en 1920; Mme Nellie Melba chanta devant un microphone du service téléphonique ; la transmission, sur ondes de 2 000 m, fut reçue par les auditeurs dans un rayon de 1 300 km ; un mouvement se déclancha alors qui se répandit rapidement en tous pays.

Un art nouveau et une industrie nouvelle venaient de naître, un nouvel élément permanent s'introduisait désormais dans la vie nationale et internationale.

La conquête de l'espace par l'électricité, qui est due à la découverte, par Faraday, de l'induction électro-magnétique et aux ondes électriques prédites par Maxwell, a mis à la disposition de l'humanité, non seulement un instrument nouveau et puissant de recherches scientifiques, mais aussi un nouvel agent de civilisation et de progrès; celui-ci maintenant, ne connait plus de frontières, il peut même s'in-

troduire dans l'espace infini où jamais sans doute auparavant, aucune manifestation de l'activité et de la pensée humaines n'avait pu pénétrer.

L'extension de ce que l'on appelle la radio-diffusion, qui constitue le moyen le plus puissant et le plus rapide que le monde ait jamais connu de répandre les informations, les plaisirs et l'instruction, ne peut qu'amener une compréhension plus étroite entre les peuples.

Elle accroît énormément le parti que l'homme peut tirer de sa voix et de son intelligence. Elle lui permet de multiplier lui-même instantanément, une centaine, un millier ou un million de fois l'expression de sa puissance, de son influence ou de son génie.

La téléphonie sans fil transatlantique et Impériale et la transmission des images par télégraphie sans fil constituent les dernières contributions apportées par les recherches des ingénieurs aux facilités de communication mises maintenant à la disposition du monde; et si le travail intense de laboratoire qui porte actuellement sur la télévision, nous donne, et nous espérons que ce sera à une date assez rapprochée, les résultats pour la conquête desquels nous luttons, le public aura, une fois de plus, l'occasion d'assister à la création d'un nouvel art et d'une nouvelle industrie : la Radio Diffusion par l'image.

L'INDUSTRIE BASÉE SUR LA SCIENCE

CHERCHEURS ET CONSTRUCTEURS

Profit tiré des recherches.

par Sir Richard GREGORY, D. Sc.

Le montant des capitaux investis dans les distributions d'éclairage et d'énergie électrique dépasse, pour le monde entier, cinq milliards de livres et, en Grande-Bretagne seule, plus de cinq cent millions de livres.

Toutes les ramifications de la grande industrie électrique qui utilisent ce capital, sont sorties de la découverte de l'électromagnétisme, faite par FARADAY il y a cent ans et constituent l'aboutissement de recherches purement scientifiques auxquelles personne n'attachait alors de valeur pratique.

On peut dire que cette découverte a ouvert une ère nouvelle, celle de l'électricité. Les inventions du XVIIIe siècle et du début du XIXe, sortaient des ateliers plutôt que des laboratoires scientifiques. On appliquait, à la construction des machines et à l'exploitation, des procédés, des méthodes, surtout empiriques et erronés. Les recherches académiques n'avaient que peu de points de contact avec la pratique industrielle.

La caractéristique de l'ère nouvelle est l'utilisation, par l'industrie, de principes, de propriétés et de produits, dus à des recherches scientifiques, que celles-ci aient été poursuivies en vue de la science pure ou dans un but pratique.

On a coutume de faire une distinction entre la recherche scientifique et la recherche industrielle, alors qu'en réalité elles se complètent l'une l'autre.

La plupart des recherches poursuivies dans les laboratoires universitaires et enregistrées dans les bulletins des sociétés scientifiques, s'inspirent du désir d'explorer le royaume de la nature et d'élargir les frontières de nos connaissances.

Dans le monde de la science, une recherche est jugée d'après sa valeur propre, non d'après l'argent qu'elle peut faire gagner.

Ses résultats peuvent trouver, après coup, des applications, mais qui constituent seulement des accessoires et rarement le but principal du travail.

D'autre part, une recherche industrielle et technique vise, à l'origine, la création d'un produit directement utilisable ou bien elle porte sur quelque problème de fabrication ou de construction dont la solution ouvrira de nouvelles voies au progrès industriel.

Aux yeux de l'inventeur ou de l'industriel, une découverte doit être utilisable; elle ne comporte pas, comme pour le savant, sa fin en elle-même. Ils ne cherchent pas tant à connaître la nature, qu'à la circonvenir; une recherche qu'ils entreprennent a pour objet, soit de préparer artificiellement une substance naturellement rare ou douée de propriétés particulières, soit de réaliser un procédé nouveau ou de perfectionner un procédé ancien, soit de construire une machine qui accroîtra leur pouvoir sur la nature ou un instrument qui leur permettra de se rire des limites de l'espace et du temps.

Faraday poursuivait ses recherches dans le simple but d'acquérir de nouvelles connaissances; cependant ses travaux ont servi de fondement à toute l'industrie électrotechnique.

Toutefois, dans les progrès et le développement de cette industrie, les recherches techniques entreprises avec des buts pratiques définis, ont joué un rôle très important.

Dans l'évolution des machines et des installations électriques, comme dans toute autre branche de l'électricité appliquée, les progrès ont été accomplis grâce au maintien d'étroites relations entre la science créatrice et le génie inventif, par des hommes capables de tirer, des théories scientifiques, des résultats industriels pratiques.

L'importance que les recherches présentent pour l'industrie électrique, celle des progrès notables que des études spéciales y ont fait faire aux machines, aux applications et aux procédés, ne peut être mise en question.

Les plus grands laboratoires de recherches du monde sont contrôlés par des sociétés électriques telles que : la Western Electric, la General Electric, les Compagnies Bell Telephone aux Etats-Unis et la General Electric Company de Wembley, en Angleterre. Dans aucune autre industrie, l'alliance de la pratique et de la théorie n'a été si étroite et aucune autre n'a tiré un plus grand profit de sa coopération avec la science.

C'est au fait que les principales firmes ont reconnu la valeur des recherches et aussi à la capacité technique des hommes placés à leur tête, que sont dues, pour la plus grande part, les conditions florissantes auxquelles cette industrie est parvenue.

Les premières dynamos étaient construites suivant la méthode du coup de pouce; aussi, leur rendement était-il très insuffisant.

Les connaissances acquises par de nombreux chercheurs ont établi les principes scientifiques qui ont permis de construire ces machines suivant des spécifications précises.

A toutes les phases de l'évolution du transformateur et de la dynamo modernes, des problèmes ont été résolus, grâce à des recherches opiniâtres et, bien souvent, les progrès ont été dus à l'application de nouvelles propriétés ou à l'emploi de nouveaux matériaux découverts dans les laboratoires scientifiques.

Un exemple frappant est celui de l'éclairage, qui fut le premier emploi donné au courant électrique.

La première lampe de SWAN et d'EDISON, à filament de carbone incandescent, a été remplacée par la lampe à filament de tungstène. L'élément tungstène a été obtenu sous forme métallique vers la fin du XVIIIe siècle. Ce ne fut, toutefois, que près d'un siècle plus tard, qu'il commença à prendre une importance industrielle pour la confection des outils d'acier à coupe rapide ; il en a été employé de grandes quantités pour cet usage.

Des essais avaient été tentés pour faire en tungstène les filaments de lampes à incandescence ; mais les résultats furent peu satisfaisants jusqu'en 1906, lorsque le Dr COOLIDGE, aux États-Unis, parvint à produire ce métal sous une forme assez ductile pour permettre de l'étirer en fils très fins. Une curiosité de laboratoire prit ainsi une grande valeur industrielle.

En raison de son très haut point de fusion et de sa résistance à la volatilisation à très haute température, le tungstène s'est révélé être le corps qui convenait le mieux pour la fabrication des filaments de lampes à incandescence. La consommation mondiale de ces lampes, qui ont un pouvoir éclairant considérablement supérieur pour une même dépense de courant, est d'environ un milliard par an. On a estimé, il y a quelques années, à environ 50 millions de livres, l'économie annuelle qu'a permis de réaliser le remplacement des anciennes lampes à filament de carbone par les lampes au tungstène.

Un nouveau progrès dû aux découvertes scientifiques est l'emploi de

la lampe à atmosphère gazeuse. Le gaz le plus souvent utilisé dans ce but est l'argon, qui fut, en 1895, isolé pour la première fois de l'air atmosphérique par Sir RAYLEIGH et Sir WILLIAM RAMSAY.

Un autre gaz, que les recherches scientifiques firent peu après découvrir dans l'air, est le néon, employé dans les tubes à décharge électrique ; ceux-ci se sont beaucoup répandus pour les enseignes lumineuses rouges et pour le balisage des aérodromes et des routes d'avions.

La lumière du néon est si pénétrante que le phare de Croydon peut être aperçu des aviateurs survolant la France. On cherche maintenant à produire une lumière incandescente blanche par le mélange de différents gaz et par l'emploi d'un verre spécial pour les ampoules ou les tubes. Il semble donc très probable qu'avant longtemps l'éclairage électrique sera fourni par des gaz luminescents, enfermés dans des tubes et qui remplaceront les filaments métalliques incandescents.

La découverte des rayons X, par RONTGEN, fut le résultat fortuit d'une recherche sur la nature de la décharge électrique dans des tubes ou ampoules de verre contenant un gaz extrêmement raréfié.

C'est de recherches scientifiques du même ordre sur la nature de l'électricité que sortit l'invention de la lampe thermo-ionique employée dans les communications sans fil et aussi la découverte de la nature et des propriétés de l'électron, sur lesquelles reposent les propriétés de ces lampes.

Lorsque RÖNTGEN observa, en 1895, que les rayons produits par un tube à vide étaient capables, non seulement d'exciter la fluorescence, mais aussi de traverser des corps divers et d'impressionner une plaque photographique, ni lui ni personne d'autre à cette époque ne prévoyait que, quelques années plus tard, une installation ou un service de Rayons X seraient regardés comme essentiel à l'équipement d'un hôpital.

On utilise aussi les Rayons X en métallurgie et en construction métallique pour découvrir les défauts de la fonte ou des pièces de machines et leur dernière application à des fins pratiques est la détermination de la structure et, par suite, de la solidité des poils, de la laine, de la fibre, employés dans l'industrie textile.

La lampe thermoionique

Les progrès réalisés par la lampe thermoionique, grâce à l'étude des conditions électriques prévalant à l'intérieur d'une ampoule de lampe à incandescence, sont un autre exemple de services pratiques dus à la recherche scientifique.

Dès 1884, EDISON découvrit qu'une plaque de métal isolée, scellée dans une lampe électrique à incandescence et entourée par le filament de charbon employé alors, était au même potentiel, c'est-à-dire dans le même état électrique, que l'électrode négative de la lampe.

Aucun courant ne pouvait, par suite, passer entre cette plaque et la borne négative, mais il reconnut qu'un courant passait de la plaque à la borne positive. Quelques années plus tard, Sir AMBROSE FLEMING communiquait à la *Royal Society*, les résultats d'une longue série de recherches sur cet « effet EDISON ».

A cette époque, personne n'eut l'idée que ces recherches pouvaient avoir une valeur pratique quelconque.

Le courant de sens unique constitue cependant un effet de soupape sur lequel est basée la construction de toutes les lampes thermoioniques employées pour les communications sans fil.

Sir AMBROSE FLEMING lui-même, en 1904, imagina sur ce principe un détecteur d'oscillations à haute fréquence; trois ans plus tard, le Dr LEE DE FOREST introduisit dans l'ampoule, entre la plaque et le filament, la grille séparée qui transformait le détecteur en relais, ou amplificateur du type employé pour les récepteurs de radio-diffusion et aussi pour la production d'oscillations électriques de haute fréquence dans les stations émettrices.

Chaque année, en Angleterre, il est présenté près de quatre millions de demandes d'installation et d'utilisation de postes de radio-diffusion, apportant à l'Etat un revenu annuel très supérieur à cinq cent mille livres et faisant vivre indirectement une grande industrie née de la recherche scientifique.

Jusqu'à la découverte des lampes thermoioniques, la portée des communications téléphoniques par lignes sous-marines ou souterraines était très limitée.

Sir THOMAS PURVES, ingénieur en chef au *Post Office*, a fait récemment remarquer que, tandis qu'il y a huit ans, un abonné au téléphone britannique ne pouvait communiquer qu'avec Paris ou Bruxelles, aujourd'hui n'importe qui peut, d'un poste quelconque de Grande-Bretagne, converser avec près de 90 pour cent des stations téléphoniques du monde.

La domestication de l'électron a rendu possible l'emploi de câbles de faible section et, partout où l'on dispose de stations de répéteurs, ces câbles peuvent fonctionner pratiquement à toutes distances sur la terre.

Avant l'introduction des répéteurs à lampes qui permirent d'étendre la portée des communications téléphoniques, on pratiquait la « charge » électrique des câbles.

Les courants de conversations subissent, le long des fils, depuis leur origine, une atténuation et une distorsion. L'étude théorique de ces ondes de transmission, due à Oliver Heaviside, a suggéré des moyens d'éviter la distorsion en répartissant une inductance le long du circuit, soit d'une manière continue, en enveloppant le conducteur d'un ruban ou d'un fil de fer, soit en espaçant convenablement des bobines d'induction appelées « bobines de charge. »

Pour réaliser cette charge, on employa d'abord le fer, mais les recherches de la Western Electric Company, conduisirent à la production d'un nouvel alliage appelé permalloy et constitué d'environ quatre cinquièmes de nickel, contre un cinquième de fer ; il présente, dans certains cas, une grande supériorité pour cet usage.

De nouvelles études amenèrent, pour constituer la charge, à la découverte d'autres alliages magnétiques importants.

L'étude des théories électriques d'Heaviside et l'adoption des câbles télégraphiques sous-marins à charge continue, ont grandement accru la rapidité de signalisation, ainsi que la distance à laquelle les câbles sous-marins peuvent être utilisés pour les communications télégraphiques.

Travaux sur les métaux

Il serait aisé de citer beaucoup d'autres exemples d'applications de la recherche scientifique aux progrès électrotechniques.

Les travaux de Davy et de Faraday à la *Royal Institution* posèrent les fondements de l'électro-chimie, représentée dans l'industrie par le raffinage du cuivre et d'autres métaux, par la fabrication de l'aluminium et par d'autres procédés pratiques.

Moissan inventa son four électrique qui lui permit d'exécuter une série d'expériences de laboratoire et de préparer un grand nombre de métaux à un haut degré de pureté.

Plus d'un million de tonnes d'acier électrique, d'une qualité égale à celles des meilleurs aciers au creuset, sont maintenant fabriquées chaque année au four électrique ; il en est de même d'autres produits industriels importants, le carbure de calcium et le carborundum.

Les avantages financiers et le profit général tirés des recherches scientifiques, en particulier dans le domaine de l'électro-technique, se

montrent donc si évidents qu'il semblerait ne devoir pas être nécessaire de pousser les Compagnies de construction électrique ou de production d'énergie à consacrer une fraction de un pour cent de leurs bénéfices aux travaux de recherches dans des laboratoires, soit universitaires, soit coopératifs.

Même en laissant de côté les recherches purement scientifiques, beaucoup d'autres problèmes techniques attendent leur solution ; nous pouvons attendre avec confiance, de leur étude systématique, de grandes économies et d'importants résultats ; cependant les fonds mis pour des travaux de ce genre à la disposition de la *British Electrical and Allied Industries Research Association* ne constituent qu'une ristourne bien maigre sur les bénéfices déjà acquis ou que l'on peut probablement espérer.

Si la célébration, cette année, du centenaire de Faraday pouvait amener les industriels et les corporations auxquels profitent les recherches, soit scientifiques, soit industrielles, à mieux comprendre leur valeur et à la reconnaître d'une manière plus généreuse, un résultat d'un grand intérêt national aurait été atteint.

L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE

UNE GRANDE RICHESSE NATIONALE

Obstacles législatifs du début

par Sir Hugo Hirst

Faraday fit sa grande découverte quelques années après la fin de l'époque napoléonienne et à un moment où la puissance de la vapeur, grâce à ses applications dans l'industrie et dans les chemins de fer, commençait à apporter son aide au pays pour réparer l'épuisement de la guerre. Pendant cette période critique, bien peu de gens se rendaient compte à quel point les inventions de Watt et de Stephenson étaient utiles pour reconstituer les richesses dissipées par une longue série de campagnes et pour en créer de nouvelles, nécessaires à l'existence de notre population toujours croissante, ainsi qu'à l'établissement de l'Empire britannique.

Personne ne pouvait avoir la vision prophétique qu'une simple expérience, faite en ce moment par Faraday, dans son laboratoire, serait l'embryon d'une industrie nouvelle destinée à aider, près d'un siècle plus tard, et dans des conditions analogues, au relèvement national.

C'est cet aspect particulier de notre dette envers Faraday que je me propose d'examiner.

Il a donné une impulsion créatrice aux progrès d'industries et d'entreprises qui se sont révélées comme de toute première importance pour notre développement national.

Quelque importants qu'aient été les fruits pratiques issus de son génie, nous n'en avons pas encore récolté intégralement la moisson. Nous avons devant nous une occasion d'effectuer, grâce à l'électricité, une réforme d'une ampleur et d'une influence supérieures à celles des victoires triomphales que nous avons déjà gagnées.

Il nous reste encore à couronner l'édifice que, grâce à Faraday, nous

avons pu élever. Il est intéressant de suivre comment la série des réalisations reposant sur ses travaux nous a amenés, pas à pas, au seuil de cet effort suprême.

Nous rencontrons là première application importante des découvertes de FARADAY, dans le domaine des communications à longue distance. Les câbles sous-marins commencèrent à se développer vers le milieu du dernier siècle et ce n'est pas par une simple coïncidence que cette période vit faire de rapides progrès aux premiers travaux tendant à l'établissement de l'Empire Britannique.

Les câbles constituaient les liens essentiels entre la mère patrie et son Empire d'outre-mer. C'est à leur développement, en même temps qu'à celui de la navigation à vapeur, que nous devons l'évolution de cet Empire dont les éléments étaient séparés les uns des autres par de grandes distances.

Dans ce domaine, l'industrie britannique trouva une vaste carrière conforme à son génie. Comme corollaire à la pose des câbles en eau profonde, nous vîmes des fabriques de câbles s'établir en Grande-Bretagne ; elles y formèrent le noyau d'une industrie constructive répondant, dans toutes les branches, à la demande d'appareils électriques.

Le progrès le plus important accompli en électricité fut l'invention de la dynamo et, peu de temps après, vers l'année 1880, celle de la lampe électrique à incandescence.

Dotée des moyens de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique et vice-versa et d'employer, sous une forme commode, l'électricité à l'éclairage, l'industrie électrique commença à prendre une part directe à la vie nationale.

La distribution publique d'électricité débuta par l'éclairage, puis elle s'étendit à l'énergie industrielle, à la traction, à la cuisine, au chauffage, au remplacement de la main-d'œuvre domestique.

Ces applications qui tiennent une si grande place aux yeux du public, qu'elles constituent, pour bien des gens, toute l'industrie électrique, déterminèrent une demande de plus en plus variée d'installations et d'appareils.

Nos fabricants de câbles mirent à profit l'expérience qu'ils avaient acquise dans le domaine sous-marin pour construire des câbles adoptés aux tensions plus élevées et aux courants plus intenses que nécessitait la distribution électrique.

Les hommes de science et les ingénieurs électriciens qui avaient marché sur les traces de FARADAY, portèrent leur attention sur les be-

soins de la nouvelle industrie pour les recherches, l'expérimentation et la production.

Toutes les conditions se prêtaient, en fait, et dans un nombre toujours croissant d'applications variées, au plein développement de la semence jetée par FARADAY.

En jetant un regard en arrière sur cette période de l'histoire de l'électricité, on peut se demander si cette industrie, qui était née et avait grandi dans notre pays, était à quelque degré appréciée à sa véritable valeur de richesse nationale.

Loin de trouver un encouragement auprès du gouvernement et des administrations publiques, les entreprises électriques furent ligotées à chaque tournant.

On imposa aux distributions d'électricité une législation si rigoureuse, que leur développement fut arrêté pour huit années environ.

Les entreprises de fourniture publique ne pouvant faire appel aux capitaux, nos constructeurs ne pouvaient recevoir de commandes.

C'est cela et cela seulement qui nous a valu le reproche d'être des retardataires, reproche dont la situation de notre pays au point de vue électrique ne s'est pas encore complètement libérée.

Peu de leçons, dans notre histoire industrielle, sont plus éloquentes que cet exemple des répercussions prolongées d'une législation animée des meilleures intentions du monde, mais entreprise avec des connaissances et avec un esprit de prévoyance insuffisants.

Un semblable manque de prévision des possibilités de l'électricité s'est manifesté à propos des tramways électriques. La traction urbaine est restée, malgré l'agitation créée pour sa réforme, soumise aux restrictions qui lui avait été imposées à l'époque de la traction animale.

Bien que les premières lignes de tramways électriques aient été construites en Grande-Bretagne, des obstacles législatifs s'opposaient encore à leur généralisation un grand nombre d'années après que les villes du Continent et de l'Amérique en avaient été pourvues.

Lorsqu'une nouvelle législation rendit possible, en 1888, un progrès dans la fourniture de l'électricité, l'industrie anglaise fit de son mieux pour réparer le temps perdu.

L'industrie de la construction, cependant, souffrit d'une manière aiguë de la perte de tant d'années qui lui auraient valu une expérience inappréciable, ainsi que du manque total de moyens de défense contre la concurrence étrangère; celle-ci avait accru sa capacité de production et sa réputation, pendant que l'industrie

électrique britannique était, de par son statut, condamnée à la stagnation.

Jusqu'à la déclaration de guerre, il n'y eut aucun relâchement dans l'intensité de la lutte, ni aucun signe que, soit dans les cercles gouvernementaux, soit dans le public, on se rendît compte que le sort de cette branche de la production eût la moindre importance pour le pays.

Je n'ai pas besoin d'appuyer sur les révélations que la guerre apporta touchant cette industrie et d'autres industries clefs. Le fait que nous dépendrions de la production étrangère fut universellement reconnu comme une faiblesse nationale; un plein encouragement fut donné à la constitution, par extensions ou par fusions, de groupes de constructeurs assez puissants pour satisfaire à toutes les demandes.

Sous ce vif stimulant, l'industrie électrique britannique s'approcha du niveau que, dans des conditions normales, elle aurait occupé bien des années auparavant.

A la même époque, le public prenait conscience du retard général de notre industrie électrique. Pendant la guerre, le débit des centrales électriques avait doublé. Malgré ce progrès remarquable, la consommation nationale d'électricité était encore bien en arrière de ce qu'elle aurait dû être dans un pays aussi industrialisé et possédant une population de 50 millions d'âmes.

Une enquête sur les causes de cette situation montra que les distributions d'énergie souffraient encore des restrictions législatives et qu'il était nécessaire de les réorganiser complètement, suivant les directives adoptées dans le domaine de la construction.

Trop de stations centrales isolées alimentaient des régions restreintes. Il fallait les interconnecter, étendre leurs territoires et rationaliser leurs méthodes de production.

En somme, pour la première fois, on abordait le problème au point de vue national.

Pour une première étape, les Commissaires de l'électricité furent chargés de coordonner les distributions électriques par la répartition du pays en territoires appropriés dans chacun desquels une autorité devrait, de concert avec les voisines, assurer une fourniture de courant abondante et à bon marché.

Les progrès furent lents: en 1926, une étape nouvelle et d'importance vitale, fut accomplie par la création du *Comité Central d'Elec-*

tricité, chargé de réaliser, sur une base nationale, la production du courant et de le livrer aux Compagnies locales par un réseau de lignes de transmissions principales; c'est ce que nous appelons aujourd'hui la « Grille ».

Le principe fondamental du *Comité Central d'Electricité* n'est pas seulement de réaliser la production sur la plus grande échelle possible. Une autre chose est encore nécessaire pour atteindre l'économie maximum dans la production de l'électricité et, par suite, le minimum de prix de vente au public :

Les demandes de courant de diverses catégories s'enchevêtrent dans une large mesure : par conséquent, une centrale qui alimente tous les genres d'industrie, transports, maisons de commerce, services publics, agriculture, éclairage, cuisine, chauffage, travaux domestiques, bénéficie d'un débit plus constant que celle dont la diversité est limitée.

Une station isolée, alimentant un territoire restreint, n'est pas si favorablement placée pour s'assurer une courbe horizontale de débit, que ne l'est un groupe de « Centrales » coopérant à la distribution sur un territoire beaucoup plus grand, où l'on peut profiter d'une variété plus grande de demandes.

Un nouveau pas est fait vers un meilleur rendement lorsque, comme cela se produit sous l'autorité du *Comité Central d'Electricité*, des groupes de centrales interconnectées par la Grille constituent effectivement un système national cohérent de production en vue de satisfaire à la totalité de la demande nationale.

Dans peu d'années, la « Grille » sera virtuellement complète, au prix d'une dépense d'environ 30 millions de livres.

Moyennant une immobilisation de capitaux relativement faible, le pays sera ainsi pourvu d'une source de courant à bon marché et susceptible d'être accrue jusqu'à pouvoir répondre à toute demande de la consommation.

A l'importance et à la diversité de cette consommation est lié le bon marché de la fourniture; je ne puis mieux exprimer l'intérêt public de ce progrès qu'en disant que si tous, industriels, ingénieurs des transports, hommes d'affaires, propriétaires, désirons intégrer à notre vie professionnelle et privée tous les bénéfices du génie créateur de Faraday, nous devons nous faire une vue aussi large que possible du problème de l'électricité et faire rentrer toute forme de consommation, sans exception aucune, dans notre projet national de distribution électrique.

Ceci m'amène encore à l'effort suprême dont j'ai déjà parlé.

Jusqu'à présent, la moisson électrique a été recueillie surtout sur les terrains industriel et domestique. Le domaine des transports n'a pas été exploité, sauf pour les tramways et sur 800 km environ de chemins de fer, surtout en banlieue, alors que l'ensemble de notre réseau ferré compte 32 000 km.

Pratiquement, l'ensemble de nos lignes principales est encore exploité à la vapeur. Nos « Alexandres » électriciens, soupirant après la conquête de nouveaux mondes, tournent naturellement les yeux avec intérêt vers les perspectives de l'électrification des chemins de fer. Les plus enthousiastes même de ces pionniers seraient toutefois forcés d'admettre que, jusqu'à une époque récente, les perspectives d'un changement aussi radical ne laissaient guère d'espoir. Ce qui a changé le caractère de l'entreprise, c'est la possibilité, ouverte par le *Comité Central d'Electricité*, de se procurer de l'énergie à bon marché et en quantité presque illimitée.

Ce changement est souligné par les directives que le gouvernement donna, il y a deux ans, à un Comité composé de Lord Weir, de Sir Ralph Wedgwood et de Sir William Maclintock. Ce Comité devait « étudier les progrès à réaliser en vue d'assurer une abondante distribution d'énergie électrique à haute tension, examiner les aspects, économiques et autres, de l'électrification des lignes de chemins de fer de Grande-Bretagne, en particulier celle des lignes principales et présenter ses conclusions en un rapport ».

Le Comité Weir a conclu que la proposition de transformer l'ensemble des réseaux de chemins de fer de ce pays, à l'exception de quelques petites lignes d'embranchement, est, économiquement, saine. « Nous croyons raisonnablement pouvoir prédire, dit le rapport, qu'en supposant l'électrification généralisée en 20 ans et le trafic maintenu à son chiffre actuel, il resterait, après paiement des intérêts, un excédent d'environ 2 pour cent du nouveau capital investi ».

Ceci place la question sur la base la plus terre à terre possible, en laissant de côté les conséquences du service plus rapide et plus satisfaisant qu'assurera l'exploitation électrique.

Plus nous étudions de près ces résultats, plus nous voyons se préciser l'assurance que l'électrification apporterait à nos réseaux le tonique qui leur est exactement nécessaire pour retrouver le trafic qu'ils ont perdu et connaître une ère nouvelle de prospérité. En d'autres termes, la généralisation des nouvelles méthodes que l'expérience centenaire de Faraday a rendues possibles, entraînera pour nos transports

nationaux une transformation aussi importante que celles dues aux inventions de STEPHENSON et de WATT.

Vu seulement sous l'angle des chemins de fer, ce programme est assez hardi et prometteur pour parler à notre imagination. Nos réseaux sont en face de l'alternative d'un déclin chronique, ou d'une résurrection par l'électrification. Ils doivent trouver le courage d'accomplir une réforme impliquant une dépense de quelques 15 millions de livres par an, pendant 20 ans : dépense qui nous apparaîtrait formidable, si nous ne nous rappelions qu'au cours des dix dernières années, nous avons dépensé cinq cent millions de livres pour nos routes, sans en attendre aucun profit direct.

Les actionnaires des réseaux apercevront, dans ce changement radical, le seul espoir solide de plus value pour leurs titres en baisse constante.

Les voyageurs y verront le seul moyen possible d'améliorer le service, les trains devant devenir plus rapides, plus fréquents et plus confortables.

L'homme d'Etat et l'industriel le salueront aussi comme un remède au chômage, apportant une source de commandes substantielles aux industries du fer et de l'acier ainsi qu'à d'autres aussi fondamentales.

Nous pourrions puiser, dans ces seuls motifs, un encouragement suffisant pour exécuter le programme de l'électrification complète ; mais il en est d'autres, d'une valeur encore plus grande et plus profonde. Nos réseaux, une fois électrifiés, consommeraient environ six millards de kilowattheures par an. Actuellement, la production totale de nos Centrales publiques est d'environ 11 milliards par an. Par conséquent nous avons, dans la consommation des réseaux par l'intermédiaire de la grille, un moyen d'accroître énormément la fourniture totale de courant électrique.

De plus, la consommation des réseaux de traction s'étend sur 24 heures et elle s'enchevêtre si bien avec les autres catégories de demandes industrielles et domestiques, qu'elle améliorera grandement la continuité et, par suite, l'économie de la production.

En résumé, l'électrification des chemins de fer fera beaucoup plus que toute autre application pour abaisser le prix du courant au profit de l'ensemble des consommateurs.

Une telle réduction de prix aura trois conséquences particulièrement bienfaisantes.

En premier lieu, le prix moindre du courant aidera à abaisser le prix de revient dans toutes les branches de l'industrie. Il y a en outre,

beaucoup d'applications de l'électricité, en particulier celles des fours électriques pour la préparation du fer, de l'acier et d'autres métaux, de l'électrochimie, du chauffage industriel qui, rares actuellement, n'attendent qu'une réduction du coût du kilowattheure pour se généraliser et entraîner l'établissement de nouvelles industries.

En second lieu, le courant à meilleur marché c'est la mise à la portée de toutes les classes des avantages de la maison complètement électrifiée, où l'emploi le plus complet est fait de l'électricité pour l'éclairage, la cuisine, le chauffage, y compris celui de l'eau et l'économie de main-d'œuvre domestique. Le progrès en ce domaine est sérieux ; il n'a besoin que de l'aiguillon d'un prix meilleur, pour devenir rapide.

En troisième lieu, un nouveau domaine pratique s'ouvrira rapidement à l'électrotechnique lorsque le courant à bon marché sera plus répandu. Les applications rurales de l'électricité dans les districts agricoles ont été retardées, en partie faute de réseaux de distribution, en partie par l'élévation relative du prix de revient pour l'alimentation de petits consommateurs dispersés.

L'électrification des chemins de fer fera pénétrer les feeders à peu près dans toutes les régions du pays et, par sa répercussion sur les prix, elle permettra de mettre à la disposition du fermier et du résident rural, de l'énergie à bon marché qu'il pourra employer à son gré et pour toutes applications.

Au lieu d'être un phénomène isolé dans quelques districts favorisés, l'électrification rurale deviendra universelle. Il est bon de noter que toutes ces extensions entraîneront un bénéfice mutuel et cumulatif.

Tout accroissement de consommation de courant, résultant d'un abaissement de son prix, se traduit par des économies sur le prix de revient qui rendent possibles de nouvelles réductions.

La question de savoir si nos réseaux doivent ou non entrer dans la voie de l'électrification, est donc de celles qui intéressent tout le monde en ce pays.

Elle est d'une importance nationale et je ne crois pas que, pour la traiter, nous puissions trouver une meilleure source d'inspiration que le centenaire de Faraday. En honorant cet humble travailleur dans le domaine de la science pure, nous sommes amenés à passer en revue les inappréciables profits qu'il nous a assurés et à nous rendre compte de la responsabilité qui nous incombe d'avoir à poursuivre courageusement et avec une claire vision, l'œuvre civilisatrice qu'il a commencée.

LA LIQUÉFACTION DES GAZ

DU CHLORE A L'HELIUM

Emplois industriels

par le Professeur J. C. Mac Lennan, F. R. S.

On peut dire qu'avec la liquéfaction du gaz hélium et sa solidification finale par le Professeur Keesom, le 26 juin 1926, la dernière page a été écrite du chapitre d'une brillante conquête de la science, chapitre dont les premiers paragraphes relataient les expériences et les découvertes de Michel Faraday à la *Royal Institution*, au début du XIX[e] siècle.

C'est Lavoisier qui suggéra à ses contemporains, sceptiques sans doute, que si la terre était suffisamment refroidie, l'air même qui l'entoure pourrait se liquéfier ; mais bien des années devaient passer avant que la liquéfaction des gaz fût obtenue au laboratoire.

Sir Humphry Davy et son jeune préparateur, Faraday, découvrirent que le chlore gazeux, préparé en chauffant l'hydrate en tube scellé, se condensait en un liquide jaune. L'ammoniaque, l'hydrogène sulfuré et le gaz chlorhydrique cédèrent bientôt à leur habileté expérimentale et, vers 1823, Faraday avait installé à la *Royal Institution* ce que l'on pourrait vraiment appeler une usine de liquéfaction.

Les progrès furent rapides dans la technique et dans l'étendue des applications. Les petits cylindres qui nous servent à recharger les siphons de soda, la glace ou la neige sèche, si employée dans les hôpitaux, nous ont familiarisés aujourd'hui avec les états liquide et solide de l'acide carbonique, gazeux dans les conditions normales ; mais c'est en 1834 que Thilorier les fit connaître au monde. Faraday mit rapidement à profit ces nouvelles découvertes. En ajoutant de l'éther à la neige d'acide carbonique, il obtint un mélange réfrigérant ; en y enfonçant des tubes d'essai, il réussit à les refroidir jusqu'à — 110° C, température de beaucoup inférieure à celles que l'on rencontre normalement sur notre terre.

Un champ de recherches, riche de possibilités aussi nouvelles qu'étranges, s'ouvrait devant les physiciens et les chimistes de cette époque. Les gaz mêmes de l'atmosphère : l'oxygène et l'azote, l'hydrogène et les autres gaz qui avaient si longtemps résisté à toutes les tentatives de liquéfaction, céderaient-ils aux nouvelles températures si basses que la science réalisait maintenant, ou étaient-ils réellement permanents comme tant de savants le pensaient ? THOMAS ANDREWS, Professeur de chimie à Belfast, essaya de les liquéfier, mais comme beaucoup d'autres avant lui, il échoua ; cependant il sut, de son échec même, tirer un succès. Dans l'une des conférences bakériennes, à la *Royal Society*, il exposa l'application de sa méthode expérimentale à l'acide carbonique (son appareil original est aujourd'hui au musée de South Kensington). Ses expériences montraient que, dans la liquéfaction d'un gaz, ce n'est pas seulement la température, mais aussi la pression à laquelle il est soumis, qui jouent un rôle essentiel. C'était la clef de la porte jusqu'alors fermée ; tant que la pression ne dépassait pas une certaine valeur critique, particulière à chaque gaz, on ne pouvait espérer le liquéfier ; le froid associé à la compression pouvait réussir, alors que l'emploi d'une seule de ces conditions échouait.

A partir de ce moment, se déroule une série de triomphes ; les gaz cèdent les uns après les autres aux progrès scientifiques. L'oxygène est liquéfié par OLSZEWSKI en 1883 ; deux années plus tard, il est démontré que l'azote et l'oxyde de carbone ne sont nullement permanents, en sorte que « l'air liquide », rêvé par LAVOISIER, est devenu une réalité.

La liste des températures de plus en plus basses successivement atteintes, se lit comme une suite de performances athlétiques ; dans un domaine comme dans l'autre, le dernier pas est toujours plus difficile à accomplir que celui qui l'a précédé.

Un nouveau principe fut appliqué pour produire le refroidissement, principe qui est la base même de nos méthodes modernes de réfrigération.

Quiconque s'est servi d'une pompe à bicyclette doit avoir remarqué que la compression d'un gaz développe de la chaleur et élève sa température ; la réalité du phénomène inverse n'est peut-être pas aussi connue. Si on laisse se détendre un gaz comprimé, il se refroidit et il peut atteindre sa température de liquéfaction. Une combinaison ingénieuse d'appareils utilise le gaz ainsi refroidi pour abaisser la température du gaz qui arrive et qui, en se détendant à son tour,

descend à une température encore plus basse, jusqu'à ce qu'il finisse par se liquéfier.

C'est ainsi que l'hydrogène fut enfin liquéfié par OLSZEWSKI en 1892 ; il ne restait plus alors, de toutes les substances connues, que le gaz hélium qui n'eût pas encore été condensé.

L'hydrogène se liquéfie à — 253° C, soit à vingt degrés seulement au-dessus de ce que nous appelons le zéro absolu de température, mais ces vingt derniers degrés sont beaucoup plus difficiles à obtenir que 20 degrés à la température normale. Pratiquement, tous les facteurs concourant à empêcher le refroidissement supplémentaire prennent alors plus d'importance. Ce n'est que par l'emploi de la bouteille à vide, invention de DEWAR, que l'on a pu empêcher l'accès de la chaleur émanant des corps voisins ; de fait, sans cette invention, tous les progrès accomplis dans la liquéfaction auraient bientôt atteint leur limite.

Tous les gaz étrangers, existant dans l'hélium à l'état d'impuretés, doivent en être extraits, sinon l'appareil s'encombre bientôt de corps solides, puisqu'à — 253° C l'hydrogène lui-même se solidifie.

Ce fut à Leyde, en 1908, dans les laboratoires du Professeur KAMERLINGH ONNES, que l'on arriva enfin au but. A — 268° C, soit 5° C seulement au-dessus du zéro absolu, la première goutte d'hélium liquide tomba dans un flacon récepteur ; elle ressemblait beaucoup à une simple goutte d'eau, mais elle représentait l'aboutissement d'un labeur de cent années.

Il y a loin des expériences relativement simples de FARADAY, à la marche d'une usine de liquéfaction d'hélium, mais pour produire celui-ci, nous devons d'abord liquéfier l'air, puis nous en servir pour refroidir l'appareil de liquéfaction de l'hydrogène qui permet celle de l'hélium. Ainsi, chacun des progrès nouveaux s'est appuyé sur les travaux antérieurs.

En abaissant la pression au-dessus de l'hélium liquide, on peut atteindre des températures encore plus basses ; c'est ainsi que KEESOM réussit à solidifier l'hélium à une température évaluée à — 272° C, soit 1° C seulement au-dessus du zéro absolu. L'homme a achevé sa conquête. Toutes les substances connues se sont soumises à sa volonté ; à une température de cet ordre, toutes les matières sont solides : il n'existe plus ni gaz ni liquide.

Mais les possibilités que contient la recherche des basses températures sont encore inconnues. Dans les laboratoires équipés comme

ceux de Leyde, de Toronto, de Berlin et comme celui qui sera bientôt établi à Cambridge, l'expérience révèle, aux basses températures, de nouvelles propriétés ignorées dans les conditions normales et qui peuvent être utiles à l'humanité. La liquéfaction des gaz ne présente pas seulement un intérêt scientifique ; elle joue un grand rôle dans la vie industrielle moderne.

Tout dépend, en effet, de la liquéfaction des gaz, depuis la réfrigération, avec ses multiples applications, la production à grande échelle de l'oxygène et des gaz rares, employés dans les enseignes lumineuses, le transport et l'accumulation de gaz comme l'acétylène, jusqu'au maintien des pistes de patinage. Michel Faraday, en expérimentant sur son tube scellé rempli de chlore gazeux, a ouvert une porte sur un monde dont il pouvait à peine rêver.

LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE

CABLES DE DIVERS TYPES

Les Problèmes de l'isolement

par Sir Alexander ROGER

L'histoire des progrès dans la construction des câbles pour transport d'énergie n'est qu'une suite ininterrompue de succès remarquables obtenus dans l'art et dans la science des fabrications en vue de satisfaire aux exigences sans cesse croissantes des transports à haute tension.

Entre 1880 et 1890, les conducteurs pour distribution d'énergie étaient généralement suspendus en l'air, mais l'aspect désagréable des poteaux et des fils n'était pas populaire chez nous, aussi les fabricants de câbles s'occupèrent-ils activement de perfectionner les conducteurs isolés pouvant être placés sous le sol des rues.

Toutefois, l'emploi des câbles à haute tension ne fit guère de progrès, jusqu'à l'amendement apporté à la loi CHAMBERLAIN de 1882 par la loi de 1888 sur l'éclairage électrique qui, entre autres réformes, porta la durée des concessions à 42 ans.

Elle apportait un encouragement considérable à la distribution d'électricité et elle fut suivie de l'exécution, à Deptford, du fameux projet de S. Z. de FERRANTI, comportant une installation de production et de transport à 11 000 V, la première de ce type en Angleterre.

Jusque-là, les transmissions et les distributions s'étaient faites à des tensions ne dépassant pas 6 000 V ; on pouvait donc se contenter, jusqu'à un certain point, de conducteurs isolés au caoutchouc vulcanisé, au bitume ou au jute imprégné. L'adoption d'une tension supérieure entraînait celle de nouveaux matériaux, présentant une perte diélectrique moindre que ceux employés jusqu'alors. La matière choisie par de FERRANTI fut le papier imprégné, de caractéristiques semblables à celles du papier imprégné qui, à cette époque, venait d'être introduit dans la fabrication des câbles isolés au papier sous plomb. Des câbles

isolés au papier, fabriqués dans les premières années qui suivirent 1890, fonctionnent encore avec succès dans notre pays. Les avantages qu'ils présentaient sur les autres types furent promptement reconnus par les dirigeants des usines productrices d'électricité, aussi bien chez nous qu'à l'étranger et on commença bientôt à en fabriquer dans divers pays. L'emploi, presque universel, de ce type de câble est dû à la sécurité qu'il présente.

La tenue satisfaisante, sur les réseaux de plusieurs Compagnies de distribution, de câbles concentriques et de câbles à 3 conducteurs à 11 000 V, poussa à envisager l'emploi de tensions plus élevées et conduisit à des progrès importants. En 1905, la très allante Compagnie de Newcastle Electric Supply fut la première à installer des câbles triphasés à 20 000 V. Un grand nombre de kilomètres de ces câbles ont été fabriqués en Angleterre ; toutefois, le développement et l'emploi de câbles pour tensions supérieures fut sérieusement retardé, non seulement par la grande guerre, mais aussi par le fait que, jusqu'au récent projet de Grille nationale, prévue pour fonctionner à une tension de service de 132 000 V, le besoin de câbles à haute tension ne se faisait réellement pas sentir en ce pays, en raison des courtes distances auxquelles l'énergie devait être transportée.

Malgré cela, cependant, quelques progrès furent accomplis et les premiers câbles à 3 conducteurs sous 33 000 V employés en Grande-Bretagne furent posés en novembre 1921, par la Mersey Power Company ; ils ont assuré depuis un service ininterrompu. Ce type de câble, dit ceinturé, qui était jadis employé d'ordinaire en tous pays pour ce genre de service, ne s'est pas montré entièrement satisfaisant. Il a maintenant été remplacé par le type « H » dans lequel les efforts diélectriques sont uniquement radiaux ; on supprime ainsi les efforts tangentiels, qui ont produit quelques troubles dans certaines installations en câbles ceinturés.

Presque tous les fabricants de câbles à 33 000 V adoptent maintenant le type « H » sous forme, soit de 3 conducteurs métallisés, placés sous une même couche de plomb (type « H ») soit de 3 câbles simples sous plomb, tordus ensemble (type « S. L. »).

L'essai satisfaisant des câbles à 33 000 V fut suivi, au cours des 4 années suivantes, de l'installation de câbles à 66 000 V. En 1925, la Newcastle Electric Supply Company demanda aux fabricants de lui fournir des lignes triphasées à 66 000 V et, depuis cette date, un grand nombre de kilomètres de ces derniers câbles ont été posés sur le réseau de la Compagnie et exploités avec succès.

Au cours de ces dernières années, une intéressante et importante amélioration fut apportée aux câbles à haute tension par M. EMANUELI, de Milan. Le nouveau câble, à un ou plusieurs conducteurs, est muni de dispositifs destinés à maintenir, en toutes conditions d'exploitation, le diélectrique rempli d'huile isolante. Le *Comité Central d'Electricité* installe dans la région de Londres des câbles à huile de ce type, fabriqués en Angleterre et travaillant à 132 000 V ou 66 000 V, tandis que sur la côte Nord-Est, des réseaux de ces mêmes câbles sont posés à la fois par le *Comité Central d'électricité* et par la Newcastle Electric Supply Company.

Dans la région de Londres, des câbles de ce type, en même temps que des câbles à isolant compact, sont exploités avec succès en triphasé 66 000 V, tandis qu'à l'étranger des longueurs restreintes de câbles à 3 conducteurs du type à huile ont été mises en service sur des réseaux à 35 000, 66 000 et 75 000 V. Quelques installations de câbles type « H » à 3 conducteurs pour 66 000 V ont été aussi réalisées en France et en Allemagne. Les qualités remarquables des câbles isolés au papier fabriqués en Angleterre sont dues, dans une large mesure, au grand soin apporté à leur fabrication et au fait que l'*Association Britannique de Normalisation* a normalisé de bonne heure les épaisseurs de diélectrique pour les câbles jusqu'à 11 000 V. Avec son expérience accumulée et sans cesse accrue d'une réglementation à l'autre, cette Association s'occupe maintenant, sur l'initiative de l'Association des fabricants de câbles, d'une nouvelle révision complète des spécifications. Cette révision a paru aux fabricants être justifiée par la bonne marche des installations dans lesquelles l'épaisseur du diélectrique des câbles est inférieure au chiffre normalisé et aussi par le fait qu'elle apportera à la réduction des immobilisations dans l'industrie électrique une opportune contribution, favorable au progrès ainsi qu'à l'extension des emplois de l'électricité. En dehors de l'action de l'*Association Britannique de normalisation*, la technique de l'industrie des câbles a été influencée par l'*Association des Recherches Electriques*, par l'*Association Britannique de recherches sur les métaux non ferreux*, et par le *Comité de recherches sur les câbles*.

Tandis que les câbles isolés au papier sont aujourd'hui employés le plus souvent pour le transport et la distribution et qu'ils le sont aussi, dans une mesure restreinte, mais avec un plein succès, pour l'installation intérieure des bâtiments, des usines et des maisons particulières, la plupart de ces installations intérieures sont, dans notre pays, exécu-

tées en câbles isolés au caoutchouc. Ceux-ci sont d'ordinaire conformes aux spécifications des normes britanniques et vendus sous les auspices de l'Association des fabricants de câbles. Cette Association a accompli une œuvre immense en maintenant, pendant nombre d'années, la haute qualité du produit.

Une vue d'ensemble sur l'industrie des câbles pour transmission d'énergie ne serait pas complète sans quelques statistiques.

Ils se sont constamment développés pendant une période de 25 ans et il est probablement exact de dire qu'en 1930 la production en câbles de tous genres pour le transport de l'énergie et en câbles et fils isolés au caoutchouc pour les installations intérieures, a quadruplé depuis un quart de siècle, aussi bien pour le commerce intérieur que pour l'exportation.

D'autre part, les importations de câbles de ces divers types ont augmenté aussi et au moins dans les mêmes proportions ; beaucoup de ces câbles importés, sinon leur totalité, pourraient être fabriqués chez nous, ce qui apporterait des bénéfices correspondants à notre industrie et à notre main-d'œuvre.

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

DE L'APPAREIL MORSE AU TÉLÉTYPE

Conversations mondiales

par le Colonel Thomas PURVES

L'industrie des communications électriques n'est pas moins redevable aux principes naturels révélés par l'œuvre fondamentale de FARADAY, que les autres applications remarquables faites de la science au service de l'humanité. La transmission instantanée et l'échange d'idées et d'informations sur toute la surface du globe frappent au plus haut point l'imagination ; ils représentent, en même temps, dans l'organisation du monde moderne des affaires, une contribution qui peut difficilement être surestimée.

Les premières inventions et les premiers progrès de la télégraphie, basés sur les découvertes des anciens pionniers, étaient indépendants des travaux de FARADAY : VOLTA, vers 1792, avait réalisé sa batterie ; OERSTED, en 1819 et 1820, avait fait connaître sa première découverte sur les relations entre le magnétisme et l'électricité et sur l'action d'un courant électrique sur une aiguille aimantée ; STURGEON en 1825, avait inventé l'électro-aimant et HENRY, en 1831, en avait à tel point perfectionné la construction, qu'il pouvait recevoir, à l'extrémité d'une longue ligne, les signaux émis. Les éléments essentiels d'une ligne télégraphique existaient donc déjà lorsque FARADAY fit connaître au monde sa grande et féconde découverte de l'induction électro-magnétique.

L'invention de la pile DANIELL, en 1836, facilita beaucoup le développement du télégraphe, en fournissant une source constante et sûre de courant électrique. En 1837, COOKE et WHEATSTONE inventaient le système télégraphique à aiguilles multiples qui, sous sa dernière forme, devint le système à aiguille unique.

Il est intéressant de noter que FARADAY fut appelé à se prononcer comme arbitre expert sur un système à aiguilles multiples, inventé vers la même époque par WILLIAM DAVY et dont la demande de bre-

vet était attaquée par COOKE et WHEATSTONE. FARADAY se prononça en faveur des revendications de DAVY et le brevet fut accordé. La même année, STEINHEIL avait découvert que la terre peut servir de conducteur de retour dans un circuit télégraphique et MORSE avait imaginé l'alphabet de points et de traits qui porte son nom ; l'année 1837 peut donc être regardée comme celle où le télégraphe fut lancé dans le monde sous une forme commerciale pratique.

De quelques systèmes primitifs.

La première application télégraphique de la découverte fondamentale de l'induction électro-magnétique par FARADAY fut le système A. B. C. imaginé par WHEATSTONE en 1840 ; des courants alternatifs étaient engendrés par la rotation d'une armature de fer doux devant des bobines enroulées sur les pièces polaires d'un puissant aimant permanent. D'autres événements saillants du début de la télégraphie furent : l'introduction par GINTL, en 1853, de la première méthode pratique d'exploitation en duplex ; l'invention, faite séparément par FRISCHEN et par SIEMENS, en 1854, des principes du duplex différentiel; le système duplex de STARK en 1855 qui, en permettant d'envoyer simultanément deux messages dans la même direction, constituait un premier pas vers la réalisation de la télégraphie en quadruplex ; l'appareil imprimeur de HUGHES, inventé en 1856 et qui est encore d'un usage journalier ; le système automatique WHEATSTONE à grande vitesse, inventé en 1868 ; le système imprimeur multiplex BAUDOT avec son alphabet à cinq unités, inventé en 1874 et le système multiplex DELANY, qui utilisait l'alphabet MORSE et qui fut exploité par le *Post-Office britannique de* 1886 à 1903.

Les développements ultérieurs de la télégraphie ont été très largement liés au perfectionnement des systèmes télégraphiques à machine, qui utilisent tous, dans l'une ou l'autre de leurs fonctions essentielles, le phénomène d'induction électromagnétique découvert par FARADAY.

Ces systèmes, qui sont innombrables, permettent d'imprimer en colonnes ou sur ruban les messages reçus et comportent des dispositifs automatiques où un transmetteur à grande vitesse est contrôlé par un ruban perforé ou encore des systèmes multiplex où plusieurs transmissions à faible vitesse sont assurées simultanément par la manipulation de transmetteurs munis d'un clavier de machine à écrire.

Un des plus remarquables parmi ces derniers est le système moderne à « fréquence tonique », au moyen duquel 12 fréquences ou plus, comprises dans la zone audible, peuvent être transmises simultanément sur un seul circuit et assurent des transmissions télégraphiques indépendantes. Ce système est régulièrement employé entre Londres et Manchester et entre Londres et Glasgow.

Dans les deux cas, le circuit permet 6 transmissions dans chaque sens.

Les systèmes automatiques à grande vitesse et les systèmes multiplex ont été imaginés dans le but d'obtenir le trafic maximum que peuvent donner électriquement les circuits télégraphiques, longs et dispendieux. Mais l'opportunité de cette politique se trouve influencée par un nouveau facteur qui commence à entrer de plus en plus en jeu, en raison du développement continu des réseaux téléphoniques.

Un nombre toujours croissant de lignes principales, en câbles souterrains, relient maintenant les principaux centres de population. Le spectre des fréquences de courants alternatifs que les lignes peuvent transporter, n'est pas complètement utilisé pour la transmission de la parole, les fréquences inférieures à 200 p:s ne contribuant guère à la qualité ou à l'intelligibilité de la parole transmise. La bande des fréquences inférieures à 200 p:s, appelée quelquefois bande sous-audible, est toutefois à même de répondre à tous les besoins des appareils télégraphiques à manipulation manuelle, jusqu'à environ 60 mots par minute et la pratique qui consiste à les réserver pour ce service tend à se généraliser.

Par l'emploi de filtres de fréquence convenables, toute ligne téléphonique principale peut ainsi être utilisée simultanément pour le service télégraphique, sans gêner les autres.

Un autre moyen d'utiliser un groupe de lignes téléphoniques pour en obtenir, comme sous-produit en quelque sorte, des transmissions télégraphiques, est de constituer des circuits super-fantômes. Il est de pratique courante de superposer un troisième circuit de conversation à deux circuits téléphoniques, en utilisant les deux conducteurs de chacun d'eux comme l'un des conducteurs d'un circuit combiné, ou fantôme. Sur le même principe, on peut former un circuit super-fantôme en combinant deux circuits fantômes. La complication qui en résulterait, jointe à la nécessité de placer des bobines de charge inductives à de courts intervalles sur les longs circuits téléphoniques souterrains, rendrait peu économique la formation de cir-

cuits super-fantômes pour communications téléphoniques, du moins dans les conditions normales ; mais pour les communications télégraphiques, les circuits peuvent être utilisés sans aucun équipement supplémentaire de bobines de charge.

Dans les régions dotées d'un réseau de câbles important, le nombre des circuits télégraphiques dont on dispose ainsi est si grand qu'il n'est plus nécessaire d'augmenter le trafic par ligne en recourant aux appareils automatiques à grande vitesse, ou multiplex ; on peut faire porter les efforts sur la réalisation d'appareils de types robustes pour communication unique qui assureront le meilleur trafic possible par agent manipulateur, simplifieront l'entretien et réduiront la durée de transmission des télégrammes individuels. Ces besoins ont été complètement satisfaits par l'introduction, sous deux ou trois formes, du télétype.

A l'heure actuelle, le *Post-Office britannique* a entrepris l'exécution d'un programme d'extension comportant le remplacement, dans le service télégraphique intérieur, des appareils Morse et des multiplex Baudot par des télétypes munis d'un clavier de machine à écrire à trois rangs. On compte, par ce procédé, pouvoir éliminer avant peu le système Morse du service des grands centres commerciaux.

De même, dans les régions rurales, le système Morse sera remplacé par la transmission téléphonique des télégrammes en « phonogrammes. » La marche des événements, qui conduit rapidement à la suppression du Morse, s'impose entièrement à la raison, mais nombreux sont ceux, dont je suis, qui constatent avec un profond sentiment de regret, la descente vers l'oubli du télégraphiste Morse ; c'était un homme d'une personnalité fortement accusée et pittoresque, d'une grande habileté, plein d'enthousiasme et d'un remarquable esprit de corps professionnel.

Il est probable que le système multiplex de Baudot et, dans une moindre mesure, le système imprimeur de Hughes, continueront à être employés longtemps encore sur les circuits anglo-continentaux.

Un procédé qui sera certainement fort utilisé dans l'avenir est celui de la transmission télégraphique des fac-similés ou des images. Plusieurs systèmes de ce genre ont été récemment amenés à un haut degré d'efficacité. Tous reposent sur la transformation en sa contrepartie électrique, au moyen d'une cellule photo-électrique, d'un faisceau lumineux balayant rapidement toute la surface de la figure à transmettre.

A l'extrémité réceptrice, l'intensité du faisceau de lumière, qui reproduit l'image, est réglée grâce à l'application d'une découverte de FARADAY : la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence du champ magnétique.

Des circuits télégraphiques publics, équipés pour la transmission des dessins, des manuscrits, des dactylographies ou des imprimés, fonctionnent entre Londres et Berlin, Munich, Copenhague, Francfort, Stockholm et Vienne.

Plusieurs journaux anglais emploient aussi ce procédé pour transmettre des dessins par fil spécial. Il est indispensable, pour le faire, de disposer de circuits téléphoniques de première qualité. La vitesse de transmission des systèmes actuellement employés est trop faible, mais des progrès notables sont déjà en vue. On peut envisager, avec confiance, la réalisation de procédés permettant d'introduire rapidement et d'une manière continue dans une machine placée à une extrémité de la ligne, des dessins, peintures, lettres, imprimés, et d'obtenir à l'autre extrémité leur reproduction claire et exacte.

Un nouveau progrès intéressant, envisagé actuellement par le *Post-Office britannique*, est l'établissement à Londres et dans d'autres grandes cités, d'un service de communications par télétype. On espère pouvoir adjoindre ce service au service téléphonique, en utilisant les lignes et bureaux existants. Un abonné au service télétype pourra obtenir, au moyen de son téléphone ordinaire, la communication avec le bureau de l'abonné demandé. Les deux abonnés se mettront alors sur le télétype et le message sera transmis dactylographié. Si l'on reconnaissait comme impraticable d'adapter ce système d'une manière satisfaisante sur les lignes téléphoniques, il serait installé un réseau spécial de télétype.

Si nous nous tournons vers le sujet connexe de la téléphonie, on peut remarquer que le premier téléphone pratique, imaginé par ALEXANDRE GRAHAM BELL en 1876, constituait une belle application de la découverte de l'induction électromagnétique, faite par FARADAY 45 ans plus tôt. Le transmetteur primitif de BELL utilisait un diaphragme de fer vibrant devant les pôles d'un aimant permanent en fer à cheval, sous l'influence des ondes produites dans l'air par la voix. Les variations de flux magnétique ainsi produites étaient transformées, par induction, en courants électriques alternatifs, dans une bobine entourant les pièces polaires de l'aimant et reliée à la ligne. Le même dispositif existait aussi sur le récepteur; dans ce cas, grâce

à l'exacte réversibilité du phénomène, les courants pénétrant dans le récepteur y faisaient varier la densité de flux du champ magnétique où était placé le diaphragme; ils déterminaient ainsi des vibrations qui engendraient dans l'air des ondes correspondant à celles des paroles prononcées à l'autre extrémité.

Les récepteurs téléphoniques employés aujourd'hui sont basés exactement sur les mêmes principes et ne diffèrent que par des détails secondaires des appareils inventés par Bell, il y a 55 ans. Toutefois, l'emploi de ce dispositif comme transmetteur n'eut qu'une brève durée. L'énergie qu'il engendrait était faible et Bell reconnut rapidement qu'il obtiendrait de bien meilleurs résultats en employant une batterie comme source d'énergie et en utilisant les déplacements du diaphragme mobile pour produire des pulsations électriques en faisant varier la résistance insérée dans le circuit.

Il construisit un transmetteur dont le diaphragme, placé horizontalement, portait en son centre une courte tige affleurant la surface d'eau acidulée, ou de quelque autre liquide approprié contenu dans une petite coupe ; le diaphragme, la tige et le liquide étaient mis directement en circuit avec la batterie et les mouvements du diaphragme faisaient ainsi varier la résistance de l'ensemble avec la surface immergée de la tige.

L'invention, faite à la même époque par Edison, du transmetteur à charbon, dans lequel les vibrations du diaphragme faisaient varier la pression exercée sur une pointe de charbon, constituait un progrès encore plus marqué ; combiné avec les études de Hugues, de Berliner et de beaucoup d'autres, sur les contacts superficiels multiples, elle conduisit à la réalisation du transmetteur moderne à carbone granulé.

L'introduction, due à Edison, de la bobine d'induction pour limiter la résistance placée directement sur le circuit du transmetteur et augmenter la tension des courants envoyés en ligne, constitua un progrès d'extrême importance, qui associa encore plus étroitement le nom de Faraday à la téléphonie.

L'invention primitive du téléphone par Bell fut suivie, aux Etats-Unis, d'un rapide développement et de l'organisation d'un grand et indispensable service public, mis à la disposition de toutes les nations du monde. L'exposé de la technique de la téléphonie et le rappel de la volumineuse bibliographie qui s'y réfère, constituent un sujet trop vaste pour pouvoir être résumé, même brièvement, dans un article de cette nature.

Plusieurs milliers d'ingénieurs ont coopéré à l'étude et au perfectionnement de ces installations complexes, qu'elles aient été à systèmes manuels ou à systèmes automatiques, ceux-ci se substituant rapidement aux premiers.

De temps à autre, de nouvelles découvertes scientifiques, ouvrant de nouvelles voies au progrès, ont contribué à étendre la portée et la généralisation de la téléphonie. Tels furent, par exemple : l'amélioration de la qualité des lignes de transmission par l'introduction des charges inductives basées sur les recherches mathématiques d'Oliver Heaviside et auxquelles Pupin a donné le premier une forme pratique ; l'invention de la lampe thermo-ionique par Sir Ambrose Fleming et sa transformation en amplificateur téléphonique par de Forest ; l'exploration et le contrôle du spectre des ondes électromagnétiques qui ont conduit aux filtres électriques, aux correcteurs de phase, aux égalisateurs d'atténuation, aux suppresseurs d'échos et ainsi de suite ; la modulation des ondes hertziennes par la parole, qui a permis le développement de la radio-téléphonie et, récemment, la liaison des transmissions par radio avec les circuits terrestres ; ainsi ont été réunis, en un seul système d'inter-communications, plus de 92 pour cent des abonnés téléphoniques du monde entier et un nombre rapidement croissant des navires qui fendent les mers.

La découverte de l'écran électrostatique par Faraday a trouvé une application dans la protection des circuits de câbles téléphoniques modernes contre les interférences inductives et dans les procédés de protection par écrans, si largement employés dans les transmetteurs et récepteurs radio-téléphoniques.

La tâche du *Post-Office britannique* dans le développement de la radio-téléphonie a, pour but essentiel, son utilisation dans le réseau général d'inter-communications public, dont il a la charge. Les liaisons téléphoniques avec les réseaux des autres pays restèrent limitées aux distances pouvant être franchies par câbles sous marins, jusqu'à ce que, en janvier 1927, une liaison par radio fut ouverte au service public général entre Londres et New-York.

Cette liaison, qui travaille sur onde porteuse de 5 000 m dans chaque direction a, depuis, été complétée par l'addition de trois autres circuits, employant des bandes d'ondes courtes alternatives et dirigées, de longueurs comprises entre 15 et 44 m.

Grâce à ces liaisons, l'Amérique du Nord dispose d'une connexion téléphonique, via Londres, avec toute l'Europe. Le secret des communications est efficacement assuré dans le service à ondes longues, en

divisant la bande des fréquences vocales en plusieurs autres, qui sont « brouillées » avant leur émission par la station transmettrice et rétablies à la station réceptrice, avant de passer sur les lignes terrestres.

Sur les transmissions à ondes courtes, on obtient le même résultat en inversant complètement la bande de fréquence vocale. On espère qu'un câble sous-marin, susceptible de transmettre les conversations téléphoniques entre la Grande Bretagne et les Etats-Unis, pourra être bientôt construit et s'ajoutera au groupe des circuits téléphoniques transatlantiques disponibles.

Un service radio-téléphonique à ondes courtes a été ouvert entre la Grande Bretagne et l'Australie en avril 1930. Il est employé aussi pour le service entre l'Australie et l'Amérique, en passant par Londres et pour le service avec la Nouvelle Zélande, en passant par l'Australie. Le service direct sur Rio de Janeiro a été ouvert en mai 1930, sur Buenos-Aires en décembre 1930 et un service direct sur le Canada le sera bientôt. Les services sur l'Inde, l'Afrique du Sud et l'Egypte sont aussi en préparation, pour s'ouvrir probablement avant 12 mois. Des essais sont en cours, en vue d'établir le service entre la Grande Bretagne, Java et le Japon. On envisage aussi un service pour Singapour, desservant Shanghaï. Des services radio-téléphoniques à ondes courtes, dont peut se servir le commerce britannique, fonctionnent aussi entre l'Amérique du Sud et l'Espagne, la France et l'Allemagne, la Hollande et Java, l'Allemagne et le Siam, la France et l'Indo-Chine. Il existe aussi une communication radio-téléphonique directe entre l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud. Le service entre le réseau téléphonique de Grande Bretagne et les navires traversant l'Atlantique, a été ouvert en février 1930.

Je ne puis, ici, que mentionner les recherches scientifiques poursuivies sur les lampes thermo-ioniques : les circuits couplés, le contrôle des fréquences, la radiogoniométrie et tant d'autres qui se sont succédé en contribuant au développement de la science de la radio. On peut prévoir que ce développement rapide continuera, reliant toutes les parties du monde au réseau téléphonique général, en communication, d'autre part, avec des postes mobiles, complètement équipés, à bord des navires et des avions. On peut s'attendre aussi à ce que l'évolution de systèmes de transmission plus complètement directifs, basés peut-être sur l'emploi d'ondes ultra-courtes, atténuera les difficultés des voyages sur mer, ou dans l'air, par temps de brouillard ou de visibilité réduite.

Nous avons noté le lien étroit existant entre toute l'organisation des communications électriques et les découvertes fondamentales de FARADAY ; il peut être encore intéressant de mentionner que sa personnalité a été associée aux installations téléphoniques modernes de Londres, du fait que le bureau téléphonique Nord a été établi dans un bâtiment de Barnsbury, jadis utilisé pour les réunions des Sandémaniens, communauté où FARADAY remplissait les fonctions d'ancien. Le fait qu'il y officia depuis 1862 jusqu'à sa mort en 1867, est rappelé par une plaque commémorative, érigée dans la salle, à la place même qu'il avait coutume d'occuper sur l'estrade. L'emplacement de son pupitre est indiqué par une dalle distincte, encastrée dans le sol. La plaque commémorative figure le lien qui rattache la téléphonie aux recherches de FARADAY, car elle représente son transformateur à anneau, flanqué, de chaque côté, d'une représentation du champ magnétique d'un récepteur téléphonique. Elle a été inaugurée par Lord KELVIN, en novembre 1906.

LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

LA SUPRÉMATIE DE LA TURBINE A VAPEUR

Economie d'espace et de combustible

par Robert H. PARSONS

Quand CHARLES PARSONS construisit sa première turbine à vapeur, en 1884, il donna à l'industrie électrique la possibilité de prendre une extension dont, même aujourd'hui, il est impossible de prévoir la fin. Cette invention était aussi opportune que révolutionnaire. Cent cinquante ans s'étaient écoulés, depuis que WATT avait établi les principes fondamentaux de la machine à piston et, durant cette période, ce type de machines avait été graduellement perfectionné, si bien que son évolution ne pouvait plus guère progresser. Des considérations mécaniques limitaient à quelques milliers de chevaux-vapeur la puissance pouvant être donnée à ces machines. Leur rendement maximum était faible, comparé aux rendements modernes et leur vitesse maxima pratique de rotation était très inférieure à celles que demandaient les ingénieurs électriciens.

Quelque sentiment de regret que puisse nous inspirer la disparition des chefs-d'œuvre des anciens constructeurs, il faut reconnaître qu'ils avaient atteint le point culminant du type et, par suite, la limite du progrès possible dans cette direction particulière. L'application de la turbine à vapeur à l'industrie de la production électrique date de 1888, lorsque la Newcastle and District Electric Light Cy installa un turbo-alternateur d'une puissance de 75 kW. Ce fut le premier exemple de l'emploi d'une turbine à vapeur dans une centrale de service public et l'essai réussit si bien que 3 nouvelles unités d'une puissance de même ordre furent presque immédiatement commandées par la Compagnie.

Il était évident, pour les ingénieurs clairvoyants, qu'une ère nouvelle s'ouvrait dans la production de l'énergie, bien que même les plus hardis prophètes eussent pu difficilement prédire les développements extraordinaires qui allaient suivre. Quant aux critiques, elles

furent, bien entendu, nombreuses. Le nouveau moteur primaire, beaucoup d'ingénieurs peuvent s'en souvenir, était connu sous le nom sarcastique de « mangeur de vapeur » ; mais ce nom perdit toute justification, lorsque, en 1891, le Professeur Eving certifia que la consommation de vapeur d'une turbine Parsons de 100 kW fournie à la Cambridge Electric Light Company, ressortait à une valeur moindre que celle de toute machine à piston de même puissance, à la même époque. Cette démonstration de l'économie réalisée établit, d'une manière décisive et définitive, les avantages de la turbine pour l'exploitation des centrales. Les turbines avaient déjà gagné le match, en raison des économies évidentes qu'elles permettaient sur l'encombrement, sur les fondations, en raison aussi de la sécurité et de la simplicité de leur exploitation. Du moment qu'elle se révélait comme économique, la turbine à vapeur assurait sa place dans les stations centrales. Il fallut attendre, cependant, le commencement du présent siècle, pour que sa supériorité sur la machine à piston fut réellement établie. Les progrès de l'industrie électrique exigeant des unités productrices de plus en plus puissantes, la supériorité des turbines devint de moins en moins discutable. En fait, dès que l'on eut besoin d'unités de plus de 5 000 kW, la turbine resta maîtresse du terrain, les constructeurs de machines à piston ayant atteint la limite pratique de leurs possibilités.

A tout ingénieur familiarisé avec la pratique des stations centrales, il apparaît comme évident que, sans les turbines à vapeur, la fourniture d'énergie électrique, telle que nous la connaissons aujourd'hui, ne pourrait même pas exister. Le profane, qui envisage l'industrie au seul point de vue de son propre confort ou de ses commodités, sachant d'autre part que la fourniture d'électricité a précédé l'apparition de la turbine, pourrait, non sans raison, réclamer quelque justification d'une assertion aussi tranchante.

Cette justification s'imposera, cependant, si l'on se demande à quelle autre sorte de moteur primaire on pourrait songer pour satisfaire aux exigences de la situation.

La fourniture d'énergie électrique, au taux de consommation actuel dans les grandes agglomérations, implique l'existence de stations génératrices de plusieurs centaines de milliers de kilowatts de puissance.

La puissance des moteurs primaires devait augmenter proportionnellement, autrement la multiplication des machines et la complica-

tion de l'appareillage seraient devenues telles que l'exploitation et le contrôle auraient été rendus excessivement difficiles. De plus, l'emploi de grandes machines réduit à tel point l'intérêt du capital et les frais d'exploitation, que leur nécessité s'impose, du seul point de vue économique.

Il existe déjà, dans des stations centrales, plusieurs turbines à vapeur de plus de 150 000 kW ; il serait impossible de construire une machine à piston ou un moteur à combustion d'huile, approchant d'une telle puissance.

Le plus grand moteur à combustion construit jusqu'ici, pour une station centrale, n'a qu'une puissance de 10 000 kW.

Il est probable que cette puissance est beaucoup plus près de la limite pratique pour une machine à pistons quelconque, qu'une puissance 20 fois plus grande pour une turbine.

L'insignifiance de la concurrence que les moteurs à combustion interne peuvent faire aux turbines à vapeur dans l'industrie de la production électrique, paraît se dégager du fait que, pour l'ensemble de la Grande-Bretagne, l'ensemble de la production électrique par moteurs à gaz et à huile représente moins de 1 pour 100 de l'énergie totale fournie par les stations centrales publiques.

Pratiquement, la totalité de l'énergie est fournie par des stations à vapeur et, bien qu'il n'existe aucune statistique sûre donnant la proportion de l'énergie encore produite par les machines à pistons, l'observation journalière suffit à montrer que cette proportion, complètement négligeable, va en décroissant vis-à-vis de l'énergie produite par les turbines à vapeur.

Si le complet effacement des machines à pistons devant les turbines, dans les stations centrales, peut être surtout attribué à la limitation de leur puissance, il est un grand nombre d'autres considérations qui ont contribué, dans une forte mesure, au triomphe de la turbine. L'économie sur l'encombrement et par suite, sur les dépenses d'établissement n'est pas la moindre.

Nous en trouvons un exemple frappant dans l'histoire de la Centrale de Lotz Road, qui fournit le courant au chemin de fer souterrain de Londres. Le projet de cette station, établie en 1901, prévoyait 10 machines à pistons de 5 500 kW chacune, conformément à la pratique qui passait alors pour la meilleure. En raison, peut-être, des excellents résultats que venait de donner un groupe de turbines Parsons, de 1 000 kW, installé à la Centrale d'Elberfeld, les plans furent modifiés et l'on décida de substituer des turbines aux machines à pistons.

La Centrale a donc été exclusivement munie de turbines et il est intéressant de noter qu'à la fin de la présente année, elle contiendra en turbines 185 750 kW occupant exactement l'emplacement horizontal prévu d'abord en machines à pistons pour 55 000 kW.

La production, par mètre carré de surface de la salle des machines, a passé de moins de 18 kW à plus de 60 kW.

De plus, la vapeur correspondant au supplément de puissance a été produite sans que l'on ait eu à augmenter les dimensions de la chambre de chauffe. Ceci tient, en partie, au rendement plus élevé des turbines modernes et, en partie, aux perfectionnements apportés aux chaudières ainsi qu'à l'emploi d'une pression de vapeur plus élevée.

Un exemple plus impressionnant encore est donné par la Centrale de Willesden, de la London Power Company, qui renferme maintenant en turbines 125 750 kW dans la même salle de machines qui ne comprenait primitivement en machines à pistons que 13 500 kW, la production par mètre carré de surface ayant passé de 4,8 à 45,7 kW.

La Centrale de Bow, de la même compagnie, contenait d'abord huit machines à pistons produisant ensemble 16 000 kW.

Entre les quatre mêmes murs de la salle de machines, il y a maintenant six turbines, d'une puissance totale de 74 250 kW.

La puissance par mètre carré de surface a passé, par suite de la substitution des turbines à vapeur, de 7,8 kW à 36,3 kW et la consommation moyenne de vapeur par kilowatt-heure a été réduite de 12,5 à 5,3 kg.

La production de 18 kW par mètre carré de surface, obtenue à Lots-Road, peut, sans doute, être considérée comme le maximum pouvant être atteint dans une station centrale munie de machines à pistons.

Pour montrer l'avantage réel que présente la turbine, au point de vue de l'encombrement, nous pouvons rapprocher ce résultat de celui que l'on obtient lorsque l'économie de place constitue une nécessité impérieuse.

Cette condition se trouvait réalisée pour la station de Hellgate, à New-York, où l'on a pu installer convenablement 610 000 kW de turbines dans une salle mesurant 145 × 33 m, ce qui correspond à 157 kW par mètre carré, soit environ huit fois 1/2 le chiffre le plus élevé atteint avec les machines à pistons.

Production plus économique

En même temps qu'elle rendait possible la production d'une grande quantité d'énergie dans un bâtiment de dimensions modérées et sans exiger plus de machines qu'il n'était nécessaire pour la sécurité et la souplesse de l'exploitation, la turbine à vapeur a permis en même temps de réaliser une économie de charbon très marquée.

Non seulement elle est d'un rendement plus élevé que la machine à pistons mais encore, par le principe même de sa construction, elle permet d'utiliser la détente de la vapeur entre des limites de pression et de température beaucoup plus écartées.

Aujourd'hui, dans beaucoup de turbines, la vapeur est admise à la pression de 100 kg/cm² ; les températures de vapeur de 450° C et des vides de 725 mm et au-dessus, sont devenus très communs.

Par suite, tandis que les machines à pistons les meilleures et les plus puissantes ne pouvaient guère produire le kilowattheure avec moins de 10 kg de vapeur, une turbine fournit maintenant le même travail avec un peu moins de 4 kg de vapeur. En fait, une garantie de consommation de 3,8 kg de vapeur par kilowatt-heure a été récemment acceptée, avec pénalité, pour une grande turbine à réaction, travaillant dans des conditions très poussées. Ceci correspond à un rendement thermique total de 38,5 pour cent.

Ce chiffre démontre qu'une installation à vapeur peut être, au point de vue de la consommation de combustible, plus économique que le moteur à combustion même le plus puissant.

A des pressions et à des températures de vapeur de cet ordre et qui sont devenues d'un emploi général, le record du rendement est détenu par une turbine Parsons, construite pour la station centrale de Dunston. Cette turbine, décrite par C. D. Gibb, dans une récente communication à l'*Institution of Mechanical Engineers*, ne consomme que 9,280 unités B. T. U. par kilowatt-heure, ce qui correspond à un rendement thermique total de 36,8 pour cent.

Nous en avons assez dit, pour démontrer que, partout où elle doit consommer du charbon, l'industrie de la production d'énergie électrique ne peut, nécessairement, employer que la turbine à vapeur comme moteur primaire.

En fait, la turbine ne connaît pas de rivale. Elle est venue à l'existence au moment où les circonstances l'exigeaient et elle a fait face aux demandes toujours croissantes de l'industrie dès qu'elles étaient formulées.

Elle ne connaît d'ailleurs pour son développement, en aucun domaine, de limite ni de spécialisation. Le constructeur de turbines ne se préoccupe ni de la tension ni de la fréquence du courant à fournir; en sorte que les caractéristiques spéciales de la turbine n'imposent aucune restriction à l'industrie de la production. D'ailleurs, l'apparition de la turbine n'a entraîné la suppression d'aucune usine existante, elle s'est adaptée à toutes les conditions de travail de la vapeur, elle pourrait fonctionner en parallèle avec n'importe quel moteur primaire.

En permettant de réaliser des économies sur les frais d'installation, sur la consommation de charbon, sur les frais d'exploitation et l'entretien, elle a contribué, dans une large mesure, à réduire le prix du courant électrique et, ainsi, elle a donné à l'industrie un développement qui l'a rendue de plus en plus indispensable.

L'ÉVOLUTION DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

QUELQUES INSTALLATIONS PRIMITIVES

Les premières lampes de couleur

par le Colonel R. E. CROMPTON, C. B.

J'ai commencé à exploiter les conséquences de la découverte électro-magnétique de FARADAY à mon retour des Indes, neuf ans après sa mort.

Jusqu'à cette époque, je m'étais occupé de transports mécaniques pour les besoins militaires. En 1878, j'achetai quelques machines GRAMME qui étaient alors fabriquées, principalement pour l'éclairage des phares, par des maisons françaises.

La même année, dans mes ateliers de Chelmsford, je commençai à perfectionner les lampes à arc qui avaient été jusque-là construites en France, également pour le service des phares. Je reconnus bientôt que la dynamo GRAMME n'était pas du bon travail d'ingénieur. L'armature en anneau, montée sur noyaux de bois, ne tardait pas à prendre du jeu, et l'enroulement n'était pas non plus satisfaisant.

Au cours d'un voyage en Suisse, avec l'*Institution of Mechanical Engineers*, je fis la connaissance d'EMILE BURGIN, de Bâle, qui vit encore.

BURGIN était un habile mécanicien.

Nous convînmes que la machine de GRAMME avait besoin d'être modifiée et j'entrepris de construire ce que nous appelâmes la dynamo CROMPTON-BURGIN, que nous fûmes bientôt à même de livrer en grande série.

Pendant les quelques années de début, l'éclairage électrique était surtout fourni par lampes à arc, pour de grands espaces découverts, tels que les stations de chemins de fer ou les gares de marchandises. Mais quand SWAN nous eut donné la lampe à incandescence, les appli-

cations de l'éclairage électrique prirent immédiatement un accroissement énorme.

Lorsque nous commençâmes à travailler, en 1878, les données pratiques mises à la disposition de nous autres, ingénieurs, étaient des plus rares.

En effet, bien qu'en 1863 la *British Association* eût adopté le système C. G. S. d'unités électriques, ce n'est qu'à la conférence de Paris, à l'automne de 1881, que le nom de Volt fut donné à l'unité de force électro-motrice; celui d'Ohm à l'unité de résistance d'un circuit et celui d'Ampère à l'unité de quantité d'électricité.

Jusqu'à cette époque, les ingénieurs télégraphistes avaient toujours exprimé la résistance de leurs circuits en longueurs de fil télégraphique.

Notre notion de quantité, dont l'unité était alors appelée le Weber, était surtout liée aux dimensions des lampes à arc et évaluée suivant le diamètre du cratère des charbons positifs.

De très bonne heure, en utilisant nos machines Crompton-Burgin pour l'éclairage par arcs, nous reconnûmes que, bien que la tension et le courant engendrés augmentassent constamment avec la vitesse jusqu'à une certaine limite, l'augmentation du courant dans l'induit produisait, une fois cette limite dépassée, ce que nous appelions alors une magnétisation transversale, en sorte qu'une nouvelle augmentation de la vitesse diminuait la tension, la machine ayant une caractéristique plongeante.

Nous cherchâmes alors expérimentalement divers moyens d'exciter les aimants inducteurs et tout d'abord, avec des bobines en série sur le circuit principal : mais, après avoir essayé le procédé de Siemens qui montait les bobines d'excitation en dérivation sur le circuit principal, nous reconnûmes que la combinaison des deux procédés donnait une tension suffisamment constante aux bornes de la dynamo, pourvu que la vitesse fût suffisamment constante. Cette invention, que nous appelâmes l'enroulement compound, nous permit de fournir des dynamos pour de grandes installations, telles que celle du Palais de Justice, où la tension devait être maintenue constante, qu'il y eût 2 000 ou seulement 100 lampes allumées.

En sorte que tout ce que nos mécaniciens avaient à faire était de maintenir constante la vitesse de la machine.

Travaux de Glasgow

Une des difficultés contre lesquelles nous luttâmes avec succès, fut l'usure des collecteurs. Tandis que Gramme et Siemens avaient monté

les balais de contacts sur des bras séparés, ce qui rendait difficile de les placer tous deux à la position angulaire la plus favorable, nous les montâmes sur des bras fixés à une carcasse qui pouvait tourner sur un tourillon concentrique à l'axe de l'armature, en sorte que l'on pouvait régler les balais à volonté en faisant tourner la carcasse d'un petit angle.

Les premiers balais de GRAMME et de SIEMENS étaient de simples faisceaux de fils, mais nous leur substituâmes tout d'abord des empilages de minces plaques de cuivre.

Dans la suite, JOHN FORBES nous suggéra l'emploi du charbon et les balais ainsi constitués donnèrent d'excellents résultats.

En 1878, je fus assez heureux pour éveiller l'intérêt de Sir WILLIAM THOMSON, qui devint plus tard Lord KELVIN. Nous éclairions alors, par lampes à arc, la nouvelle station de Saint-Enoch à Glasgow ; Lord KELVIN, son frère JAMES THOMSON, et leur ami FLEMING JENKINS vinrent souvent suivre nos travaux et nous discutâmes alors la théorie complète permettant de calculer la tension produite par une dynamo qui tourne à une vitesse donnée.

Nous fûmes d'accord pour reconnaître que la formule ci-après pouvait être utile pour le calcul de nos dynamos :

$$\frac{4\pi \times \text{ampères-tours}}{2 \times \text{entrefer}}.$$

Ceci nous amena à étudier la meilleure méthode permettant d'accroître l'efficacité du champ magnétique en réduisant l'entrefer.

A cette époque primitive, nous donnions à tous nos électro-aimants inducteurs la forme de colonnes longues et minces sur lesquelles étaient enroulées les bobines d'excitation.

La machine « Jumbo », d'EDISON, en est un bon exemple ; mais j'arrivai personnellement à la conclusion que nous devions raccourcir et épaissir nos électros de champ et en même temps réduire l'entrefer, pour ne laisser sur l'armature que l'espace nécessaire à une seule couche d'enroulement.

GISBERT KAPP, qui était alors à mon bureau de dessin, n'était pas d'accord avec moi sur ce point mais, contrairement à ses désirs, je construisis une dynamo à électro-aimants très courts et très épais, à nombre réduit de tours sur les inducteurs et à une seule couche d'enroulement sur le noyau de l'armature.

Il se trouva que cette machine eut un grand succès ; la dynamo por-

tant mon nom était née et, l'année suivante, j'obtins la médaille de l'Exposition des Inventions.

La plus ancienne installation pour laquelle je reçus une commande définitive fut celle de Berechurch Hall, nouveau bâtiment élevé par JESSE COOPE, un des associés de IND, COOPE et Cᵒ de Romford. Ceci se passait au début de 1881. L'emploi de notre système d'enroulement compound, récemment inventé, nous permit d'obtenir sans difficultés une tension suffisamment constante aux bornes des lampes, en entraînant les dynamos par une machine à vapeur bien réglée. Mais, pour l'installation intérieure et les dispositions générales d'éclairage d'une maison de campagne, nous eûmes à créer et à livrer les équipements nécessaires, ainsi qu'à mettre au point les méthodes devenues aujourd'hui si familières à tous, qu'on les considère comme toutes naturelles.

Par exemple, la suspension des lampes au plafond par leurs propres conducteurs, les formes diverses des petits interrupteurs d'appartement, leur fixation près de la porte d'entrée, l'adaptation aux lampes électriques des appliques utilisées jusqu'alors pour l'éclairage au gaz, la pose des conducteurs sur les murs sans endommager la décoration, les abat-jour destinés à diffuser la lumière tout en protégeant les yeux contre les rayonnements directs, tous ces problèmes furent attaqués et résolus d'une façon satisfaisante par HAROLD THOMSON, fils du grand R. WILLIAM THOMSON.

A cette époque, il n'y avait pas de monteurs électriciens, mais nous engageâmes quelques manœuvres adroits qui avaient été employés par l'entrepreneur comme poseurs de sonnettes et nous en fîmes bientôt d'excellents monteurs.

Avec l'aide de ces hommes, THOMSON posa et fixa tous les fils d'installation intérieure de Berechurch Hall.

Les dispositions prises par THOMSON étaient si satisfaisantes, que nous pûmes les adopter sans changements notables lorsque, vers la fin de 1881, SHAW LEFÈVRE, qui était alors premier Commissaire des travaux, nous commanda l'éclairage du nouveau Palais de Justice, nécessitant environ 2 000 lampes. Le fait que la pose des fils et l'installation générale du Palais de Justice n'a pas eu pratiquement à subir de retouches au cours des 50 années qui se sont écoulées depuis, est une preuve du génie dont fit preuve HAROLD THOMSON, génie auquel, jusqu'à ce jour, il n'a pas été suffisamment rendu justice.

Vers cette époque, des commandes d'installations d'éclairage de maisons particulières, en ville ou à la campagne, nous arrivèrent en grand nombre.

La plupart du temps elles ne constituaient que des reproductions du plan général arrêté par nous à Berechurch.

L'intérêt montré par la Reine

Lorsque la reine VICTORIA désira faire installer la lumière électrique au palais de Buckingham et au château de Windsor, nous reconnûmes que, pour les palais royaux, nous devions faire mieux que pour les habitations privées.

Nous eûmes l'idée de dissimuler les sources lumineuses et d'éclairer les appartements par réflexion sur les plafonds blancs en dissimulant les lampes derrière les corniches.

La reine VICTORIA s'intéressa beaucoup à notre travail et discuta elle-même, avec nous, l'emplacement des lampes et l'intensité d'éclairement nécessaire dans les divers salons officiels.

W. H. MASSEY, qui est encore des nôtres, avait alors été engagé comme Ingénieur-Conseil pour donner ses avis à la Reine et il pourra, corroborant mes dires, attester que nous devons beaucoup au bon goût et au bon sens de la reine VICTORIA, quant aux dispositions définitivement adoptées ; celles-ci firent de l'éclairage des palais un grand succès et assurèrent une magnifique réclame à l'éclairage électrique en général, en même temps qu'à nous-mêmes.

Peu après la terrible perte de vies humaines que causa l'incendie du Ring Theater à Vienne, en 1883, nous commençâmes à substituer, dans les théâtres, la lumière électrique au gaz.

Feu l'empereur FRANÇOIS-JOSEPH déclara alors que les dangers du gaz étaient si grands dans les théâtres, que l'électricité constituait le procédé d'éclairage le plus sûr et le meilleur.

L'Impérial Continental Gaz Company m'appela donc en consultation et, au cours des années suivantes, nous eûmes à exécuter le projet, puis la construction d'une station centrale devant alimenter l'ensemble des théâtres impériaux de Vienne.

Cette installation fut, en fait, la première qui ait assuré l'alimentation par une station centrale de grands bâtiments publics, dont quelques-uns étaient éloignés de près de 2 km.

Le Grand Opéra de Vienne fut le premier théâtre complètement éclairé à l'électricité. Toutes les lampes, sur la scène, dans la salle et dans les autres parties du bâtiment, étaient électriques.

Un notable progrès, qui fut vivement approuvé par l'Empereur, con-

sista à éclairer la salle par des appliques en saillie sur le devant des galeries, système appelé éclairage « Brustung ».

L'Empereur en fut extrêmement satisfait, car auparavant, quand on employait le gaz, il était impossible de placer là les becs, en raison des fumées et de l'air chaud qui s'en dégageaient et incommodaient le public des galeries supérieures.

Nous dépensâmes beaucoup de temps et d'efforts pour produire des effets de scène variés, en employant un grand nombre de circuits distincts de lampes colorées.

En faisant varier les résistances de chaque circuit, nous arrivâmes à augmenter graduellement la lumière, depuis l'obscurité complète de la nuit, en passant par les teintes rosées de l'aurore naissante, jusqu'à la pleine lumière du jour.

Les directeurs de l'Opéra furent si satisfaits de ces possibilités de mise en scène, qu'ils montèrent plusieurs opéras et ballets à seule fin de les essayer.

Ces spectacles étaient si populaires, que Tout-Vienne courait en foule à l'Opéra, surtout pour voir ce que les ingénieurs anglais avaient réalisé avec ce qu'on appelait alors le gaz électrique.

Les propriétaires des théâtres anglais, à commencer par Drury-Lane et le Savoy Theater récemment bâti, suivirent rapidement l'exemple que nous avions donné à Vienne et nous constatâmes que tous étaient enchantés de la suppression de la chaleur et des gaz brûlés, aussi bien derrière la scène que dans la salle.

Au Savoy, lorsque l'opéra de Gilbert et Sullivan, *Yolanthe*, fut monté pour la première fois, nous plaçâmes sur le front de toutes les fées des étoiles électriques et, comme chacune devait porter un accumulateur sur le dos, entre ses ailes, nous eûmes quelque difficulté à les convaincre qu'elles ne recevraient pas de secousses électriques.

LA DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ

L'ÉVOLUTION DES MÉTHODES,

par le Lieutenant-Colonel W. A. VIGNOLES, D. S. O.

Le tableau ci-après indique les dates des principaux événements qui ont jalonné l'histoire de la distribution et des emplois de l'électricité. On remarquera que 50 ans se sont écoulés entre la découverte de FARADAY et le début de la première fourniture publique d'électricité :

1831 : découverte de FARADAY.
1845 : dynamo à auto-excitation.
1858 : machine magnéto au phare de South-Foreland.
1876-78 : lampes à arc.
1879-81 : lampes à incandescence à filament de carbone.
1881 : première distribution publique d'électricité.
1882 : promulgation de la première loi sur l'éclairage électrique.
1888 : seconde loi sur l'éclairage électrique.
1890 : emploi de 10 000 V par « de FERRANTI ».
1901-05 : formation des Compagnies de distribution.
1908 : lampes à filament métallique de tungstène.
1911 : emploi des grandes turbines à vapeur.
1913 : lampes à filament métallique à atmosphère gazeuse.
1919 : commission de l'électricité.
1926 : comité central d'électricité.
1930 : mise en exploitation du premier secteur de la « grille ».

FARADAY construisit lui-même une machine qui devait engendrer de l'électricité et il fit aussi un moteur électrique ; mais ce n'étaient là que des appareils scientifiques et il restait beaucoup à faire pour les ingénieurs avant qu'ils puissent construire une machine pratiquement vendable.

Les machines de FARADAY et celles de ses successeurs comportaient des aimants permanents (machines magnétos) et ce fut seulement en 1845 que WHEATSTONE construisit une machine utilisant un électro-

aimant ; le courant nécessaire, fourni d'abord par une batterie, le fut plus tard par la machine même ; en d'autres termes : la machine à auto-excitation était réalisée.

En même temps, le rendement des machines magnétos était porté à une valeur relativement élevée et, en 1858, l'une d'elles alimentait un arc puissant qui fournissait la lumière au phare de South-Foreland.

De 1860 à 1880, les efforts se portèrent sur le perfectionnement des génératrices électriques ou, comme on les appelait, des machines dynamos. Des hommes comme Pacinotti, en Italie, Gramme en France, Wheatstone en Angleterre et Siemens en Allemagne, contribuèrent à réaliser la machine industrielle.

Mais, tandis que ces progrès se poursuivaient, aucun besoin notable ne se faisait sentir d'une distribution publique de courant ; son principal emploi connu était l'éclairage à arc, or celui-ci n'était pas entré dans la phase industrielle.

Le monde devait attendre que Jablockhof eût, en 1876, réalisé ses bougies d'éclairage à arc, installées en 1878 sur les quais de la Tamise et que Brush eût présenté, deux ans plus tard, des lampes à arc travaillant en série, pour que l'électricité pût être employée industriellement à l'éclairage électrique.

L'éclairage à arc ne se prêtait certainement pas à l'éclairage intérieur, sauf peut-être dans de grandes salles.

Aussi, nombre de chercheurs s'attelèrent-ils à ce qu'ils appelaient le problème de la division de la lumière électrique.

Swan en Angleterre et Edison en Amérique l'étudiaient tous deux. A l'automne de 1878, Swan montra, à Newcastle, la première lampe électrique à incandescence et, en 1879, Edison prit son premier brevet anglais.

La lampe électrique se développa dès lors rapidement et l'on porta un vif intérêt aux moyens de fournir le courant d'une maison à l'autre.

En 1881, cinquante ans après la découverte de Faraday, se tint à Paris une exposition d'électricité qui attira l'attention des financiers sur les possibilités de l'éclairage électrique et, bientôt après, commença la fourniture publique du courant.

La même année, Godalming installa une distribution publique d'électricité par l'éclairage de ses rues. Au cours des deux années suivantes, un grand nombre de compagnies d'éclairage électrique se formèrent.

La loi sur l'éclairage électrique de 1882 opposa toutefois une barrière sérieuse à l'établissement des entreprises de distribution en Grande-Bretagne et ce ne fut qu'à partir d'une loi de 1888, amendant la précédente, qu'elles commencèrent à se généraliser dans le pays.

La Grande-Bretagne s'est ainsi attardée pendant six ans dans les premières étapes de la distribution électrique et c'est en grande partie aux ingénieurs anglais que nous devons de n'être pas restés désespérément en arrière.

Après 1888, les progrès furent très rapides et, vers 1900, un grand nombre d'entreprises s'étaient constituées. Dans ces lointaines années, les seules fournitures envisagées étaient celles d'éclairage : or, on ne tarda pas à constater que le prix de la production était considérablement grevé du fait que la forte demande de courant ne durait que quelques heures par jour.

Les ingénieurs cherchèrent donc dans quelles directions ils pourraient trouver d'autres débouchés ; vers 1900, de grands efforts furent faits en vue de développer les emplois de l'électricité comme énergie motrice et l'importance de l'éclairage commença à passer temporairement au second plan.

Les promoteurs des premières entreprises de production électrique n'envisageaient pas le transport du courant à une distance quelque peu importante. En fait, quelques-unes des compagnies de Londres établirent plusieurs Centrales sur leurs territoires respectifs pour réduire les pertes dans la transmission. Vers 1890 cependant, feu le Dr S. Z. de Ferranti étonna le monde en démontrant la possibilité de transmettre l'électricité à des distances relativement longues par l'emploi de hautes tensions (10 000 V) et, comme les difficultés techniques inhérentes à ces tensions furent rapidement surmontées, nous trouvons, entre 1901 et 1905, un grand nombre de compagnies « d'énergie » établies dans les différentes régions du pays et installées spécialement pour alimenter en courant de vastes territoires. La Grande-Bretagne était ici en tête du progrès.

Les compagnies d'électricité rencontrèrent à l'origine des difficultés considérables dues à ce qu'elles produisaient l'énergie au moyen de machines à vapeur dont la puissance était du même ordre que celles des grandes usines ou des ateliers auxquels elles auraient voulu fournir la force motrice ; par suite, elles constatèrent qu'il était difficile de lutter, au point de vue du prix de revient, contre des usines fonctionnant à charge presque constante. Elles pâtissaient aussi du fait que

la plupart des municipalités préféraient installer une petite usine indépendante pour alimenter leur territoire plutôt que d'acheter l'énergie à une compagnie étrangère.

Un grand nombre de petites centrales furent ainsi établies.

Feu Sir Charles Parsons avait étudié, pendant plusieurs années, le problème de la turbine à vapeur et, vers 1903, les turbines puissantes commencèrent à se répandre ; vers 1911 on construisait des unités de 25 000 kW.

Les progrès du rendement suivirent ceux de la puissance, entraînant une réduction rapide du poids de charbon consommé pour produire un kilowattheure.

L'adoption des turbines à vapeur commença à se généraliser vers 1910 ; depuis cette époque, le rendement moyen de la production a été en croissant régulièrement et il progresse encore.

Ainsi, en 1920-21, la consommation moyenne du charbon, dans l'ensemble du pays, était pour 1 kWh de 1,7 kg et, en 1929-30 de 950 g.

Ce progrès a permis aux Compagnies productrices et à toutes les entreprises de distribution de réduire leurs prix, spécialement pour les besoins d'énergie et ceci eut pour conséquence un rapide accroissement du nombre de kilowattheures vendus depuis la guerre. On peut le voir sur le graphique ci-contre, qui montre que le nombre d'unités vendues par an est maintenant le triple de ce qu'il était en 1919.

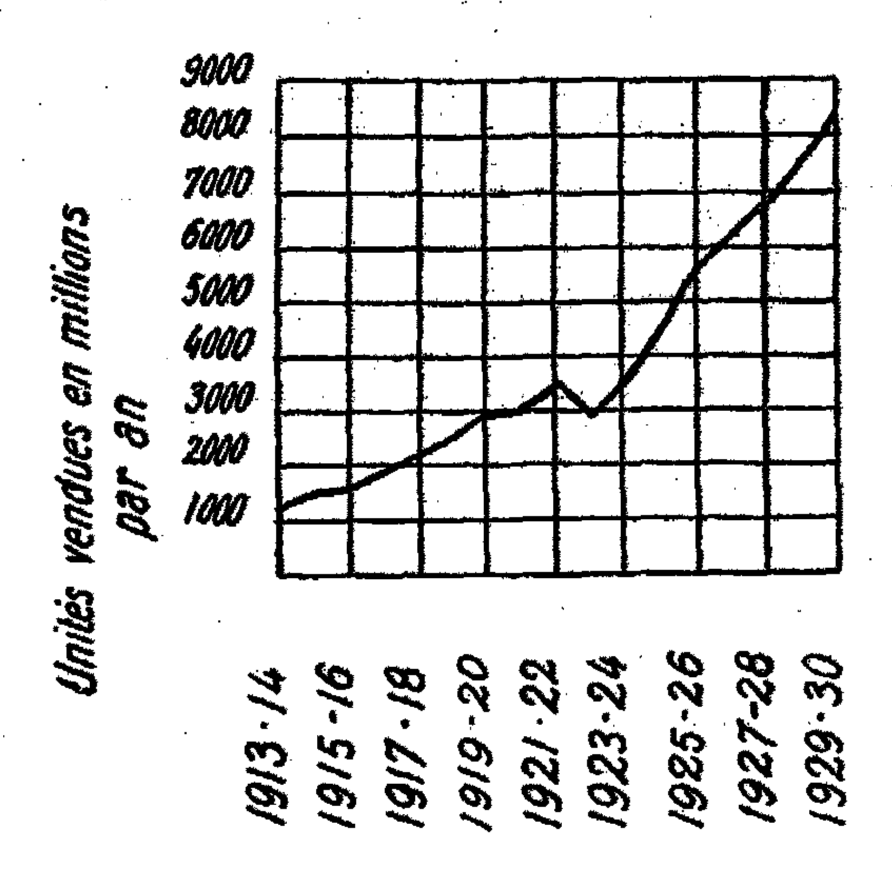
La distribution publique d'électricité reçut une vive impulsion du fait de l'introduction de la lampe à filament de tungstène, inventée en 1904 et qui, dans tout le pays, remplaça rapidement, vers 1908, la lampe à filament de carbone. Cette lampe, qui produisait la même quantité de lumière qu'une lampe à filament de charbon en absorbant moins d'un tiers du courant, inspira d'abord quelques craintes aux producteurs, mais nous pouvons constater maintenant que son invention marqua une nouvelle étape dans le développement de l'industrie de la distribution d'énergie.

En 1913, un filament de tungstène étiré fut enfermé dans une ampoule qui, une fois le vide fait, fut remplie d'un gaz inerte ; ce gaz soutire, par convection, la chaleur du filament, qui peut ainsi travailler à haute température en assurant une nouvelle et substantielle augmentation de rendement.

Jusqu'en 1914, la lampe à arc était largement employée pour l'éclairage des rues et des extérieurs mais, durant les années de guerre, la

plupart des appareils furent retirés du service et, lors du retour aux conditions normales, très peu d'arcs furent réinstallés ; la plupart avaient été remplacés par de fortes lampes électriques, du type à atmosphère gazeuse.

Pendant la guerre, la demande de courant pour l'énergie s'accrut fortement, surtout pour les fabriques de munitions. A la fin de la guerre, cette demande d'énergie diminua naturellement beaucoup ; pendant quelque temps, les entreprises virent diminuer leurs bénéfices, ce qui amena beaucoup d'entre elles à essayer d'accroître le chiffre d'affaires qu'elles faisaient avec le consommateur domestique,



en l'encourageant à employer l'électricité pour son chauffage et sa cuisine, aussi bien que pour son éclairage. Cette extension, prônée avec enthousiasme par quelques ingénieurs avant 1914, a rapidement progressé depuis 1920. Le nombre des abonnés privés employant maintenant l'électricité, est plus de trois fois supérieur à ce qu'il était à la fin de la guerre.

Un trait frappant de l'industrie de la fourniture d'électricité est que, malgré la crise économique intense de ces deux dernières années, la demande de courant, jusqu'au jour où nous écrivons, non seulement s'est maintenue, mais a augmenté.

Il est évident que le fort accroissement du nombre des consommateurs domestiques et la plus grande variété d'emplois du courant électrique donneront plus de stabilité aux entreprises et atténueront considérablement les conséquences de la dépression commerciale.

Cet accroissement du chiffre d'affaires a, bien entendu, entraîné une augmentation continuelle des capitaux investis ; le montant total des capitaux immobilisés par l'ensemble des municipalités et des compagnies atteignait, en 1897, dix millions de livres ; en 1910, quatre-vingt-dix millions ; en 1919, environ cent vingt-quatre millions ; à la fin de 1930, trois cent vingt-sept millions et cette immobilisation continue, à raison d'environ trente millions de livres par an. Comme le revenu de presque tous ces capitaux est substantiel, on peut constater que l'industrie électrique apporte une contribution importante à l'emploi de la main-d'œuvre et au maintien de la vie économique du pays.

En 1919 et 1926, deux lois sur la distribution de l'électricité ont été votées et ont institué la *Commission* et le *Comité Central d'Electricité*. Ils ont été chargés de coordonner la production du courant dans toute la Grande-Bretagne et d'établir ce que l'on a appelé la « grille », réseau de lignes de transport à haute tension décrit dans un des articles ci-joints.

L'ÉVOLUTION DE LA DYNAMO

LES MACHINES POLYPHASÉES MODERNES

par Miles WALKER

L'un des premiers inventeurs qui ait construit une dynamo pratique basée sur les découvertes de FARADAY fut PIXII qui, en 1831, fit tourner un aimant permanent au-dessous de deux bobines fixes dans lesquelles il engendrait ainsi un courant alternatif.

En 1832, il fit une seconde machine pourvue d'un collecteur qui redressait le courant alternatif.

L'aimant, en fer à cheval, était monté sur un axe vertical de manière que ses pôles passent successivement sous deux bobines de fil fixées à la partie supérieure du bâti. Le collecteur, placé à la partie inférieure de l'axe, donnait, dans le circuit extérieur, un courant de direction unique. Ce dispositif avait été suggéré par AMPÈRE.

La bobine de la dynamo de PIXII était fixe ; chacune des deux parties métalliques du collecteur comprenait une bague continue en contact avec un balai fixe et recueillait le courant alternatif produit dans la bobine. Les deux segments fendus du collecteur faisaient passer, dans deux autres balais fixes, le courant de direction unique.

Dans notre pays, SAXTON en 1833 et CLARKE, en 1835, construisirent des dynamos dans lesquelles les aimants étaient fixes et les bobines mobiles.

La machine de CLARKE avait un seul collecteur, dont chacun des segments était relié directement aux extrémités du fil des bobines.

Dans les premières dynamos, l'aimant inducteur était en acier à aimantation permanente. En 1838, PAGE employa un électro-aimant qui avait été construit par STURGEON plusieurs années auparavant.

Au début, l'électro-aimant était excité par une source indépendante, batterie ou petite magnéto mais, en 1848, JACOB BRETT fit passer le courant de l'induit dans une bobine de fil entourant l'aimant permanent de façon à en accroître la force. Telle fut l'origine de la dynamo à auto-excitation ; aujourd'hui, la plupart des dynamos à courant

continu excitent leurs propres inducteurs, mais les alternateurs, ne pouvant le faire, doivent être munis de petites dynamos à courant continu appelées excitatrices.

Les premières armatures étaient formées de noyaux de fer compacts sur lesquels on enroulait les bobines. On ne remarqua pas tout d'abord que des courants de FOUCAULT, se développant dans ces noyaux, y déterminaient une perte et un échauffement considérables.

En 1847, PULVERMACHER proposa de construire le noyau de l'induit en tôles de fer minces, dans lesquelles ne pouvaient circuler que des courants de FOUCAULT très faibles. Ce perfectionnement faisait franchir un pas important vers la construction d'une dynamo à haut rendement. Longtemps avant que les aimants inducteurs fussent autoexcités, des essais heureux avaient été faits pour engendrer des courants très puissants au moyen d'induits constitués de plusieurs bobines tournant entre les pôles de grands aimants permanents.

Dans une machine établie par NOLLET, 8 rangées d'aimants permaments, fixées sur une charpente massive de fonte, projetaient leurs pôles radialement vers l'intérieur. L'induit consistait en un certain nombre de disques de laiton, sur chacun desquels étaient montées 16 bobines tournant entre les pôles de l'inducteur. Au début, ces bobines étaient connectées à un collecteur à 32 lames, sur lequel frottaient des balais recueillant un courant redressé.

Ce collecteur fut toutefois abandonné, en raison des étincelles qui s'y produisaient et les bobines furent reliées à des bagues glissantes, de manière à donner un courant alternatif d'environ 6 400 alternances à la minute. A cette fréquence, le courant alternatif se prêtait à l'alimentation d'une lampe à arc. Beaucoup de machines, à peu près identiques, furent construites par HOLMES en Angleterre et employées pour l'éclairage à arcs des phares. L'induit enroulé en tambour de W. von SIEMENS, de 1857, placé directement entre les pôles de l'aimant inducteur, constituait un grand progrès sur ce qui avait été fait jusqu'alors. Sous sa forme la plus simple, il consistait en une pièce de fer allongée, présentant une section transversale qui rappelait la lettre H et découpée dans un cylindre ; elle tournait entre des pièces polaires alésées de manière à ne laisser qu'un faible espace libre. Dans les rainures de ce noyau en forme de navette, la bobine d'induit était enroulée longitudinalement et ses deux extrémités étaient fixées aux segments d'un collecteur en deux pièces. Sur cette armature, on pouvait concentrer la plus grande partie du flux ma-

gnétique issu d'un puissant électro-aimant, en sorte que la machine avait un débit considérable pour ses dimensions.

Henry Wilde construisit avec succès des dynamos munies de l'induit Siemens et, en 1866, il en exposa une très puissante à la *Royal Society*. Les électro-aimants de l'une de ses machines étaient excités au moyen d'une petite génératrice magnéto électrique. Ces essais de Wilde marquèrent le début des grandes dynamos.

Un grand progrès dans la construction des dynamos à courant continu, fut l'invention de l'induit en anneau, dit induit Gramme. Autant qu'on peut le savoir, l'italien Pacinotti fut le premier à réaliser le véritable induit en anneau, mais c'est le français Gramme, qui donna à l'invention son expansion commerciale. L'induit de Pacinotti différait des précédents en ce que les bobines y étaient enroulées sur un anneau de fer et connectées entre elles de manière à former un circuit fermé, indépendant de toute connexion au collecteur. Des fils de dérivation étaient branchés entre les points de jonction des bobines et les lames d'un collecteur, en sorte que le courant pénétrait par une lame pour sortir par celle diamétralement opposée, en traversant les deux moitiés de l'enroulement et en excitant des pôles magnétiques aux deux côtés opposés de l'anneau de fer. Ceci différait essentiellement des bobines enroulées sur les parties saillantes d'une armature et excitant chacune un pôle magnétique distinct. Quand un tel induit tourne entre les pôles d'un aimant, les forces électro-motrices de toutes les bobines montées en série s'additionnent et le courant dans chaque bobine peut s'inverser indépendamment lors de son passage sous le balai ; ceci rend la commutation facile, bien que le nombre de tours total soit suffisant pour engendrer une force électro-motrice élevée. Tel est le secret du succès de l'enroulement Gramme.

L'introduction de la lampe à incandescence par Edison et Swan provoqua une grande demande de dynamos et, au cours des années qui suivirent 1880, les Centrales d'éclairage de villes commencèrent à s'installer en nombre croissant. Quoique les travaux de Siemens, de Gramme et d'autres, eussent fait beaucoup pour mettre dans le commerce la dynamo à courant continu, sa construction n'était pas convenablement comprise.

Ce furent John et Edward Hopkinson, de Manchester qui, pour la première fois, apprirent aux ingénieurs à traiter scientifiquement les données utilisées dans une dynamo. En 1886, ils leur montrèrent com-

ment on pouvait calculer le flux magnétique total dans un circuit magnétique donné et prédéterminer le fonctionnement d'une machine d'après ses dimensions. Des contributions notables à cette théorie. furent apportées par Kelvin, Kapp et Arnold, entre autres. Au début, la dynamo à courant continu était la machine favorite des ingénieurs électriciens, car ils comprenaient les lois relatives au courant continu parcourant un circuit, tandis que les propriétés du courant alternatif leur paraissaient beaucoup plus compliquées. Toutefois, comme il devint nécessaire de transporter l'énergie électrique à des distances considérables des stations centrales, on reconnut qu'il convenait d'employer des tensions très supérieures à celles de 100 ou 200 V requises pour les lampes. Avec le courant alternatif, il est possible d'élever ou d'abaisser la tension au moyen d'un transformateur très simple, ne comportant aucune pièce mobile. Ce transformateur n'est autre, en principe, que le simple anneau de fer muni de deux bobines, fabriqué par Faraday.

Si l'on doit transmettre une puissance de 1 000 W à 2 km, il est plus économique de transmettre 1 A sous 1 000 V que 10 A sous 100 V. Le conducteur n'a pas besoin d'être si gros et la perte d'énergie n'est pas aussi grande ; mais la tension de 1 000 V est dangereuse pour l'homme et elle est trop élevée pour être convenablement employée dans les lampes électriques.

Nous avons donc besoin de quelque appareil approprié pour abaisser la tension. Pour pouvoir faire usage du transformateur, il était nécessaire de disposer de courant alternatif, en sorte que les alternateurs recommencèrent à être largement utilisés vers 1890 et le transport en courant alternatif se généralisa.

Mais à cette époque, il n'existait pas de moteur pouvant fonctionner d'une manière satisfaisante sur les distributions à courant alternatif. Il est vrai, comme John Hopkinson nous le montra, qu'un alternateur fonctionne comme un moteur synchrone ; mais il ne peut démarrer de lui-même et il ne se prête pas, en général, au travail demandé aux moteurs. C'était un grand inconvénient pour le transport des courants alternatifs et les ingénieurs du courant continu triomphaient du fait de la supériorité de leurs moteurs.

Ce fut alors que se produisit la grande invention des machines polyphasées, grâce auxquelles la difficulté inhérente au moteur à courant alternatif fut complètement surmontée.

Ferraris montra, en 1888 que, lorsque deux courants alternatifs, de

phases différentes, à la manière des manivelles d'une locomotive, traversent deux bobines disposées à angle droit, ils produisent un champ magnétique tournant, qui détermine la rotation de masses de métal compactes sans connexion avec le circuit.

Si, au lieu d'une simple masse de métal, nous employons un rotor convenablement établi et formé d'un cylindre de tôles de fer portant des conducteurs à sa surface extérieure et si nous le plaçons dans un champ magnétique tournant, nous aurons réalisé un moteur qui pourra fournir des milliers de chevaux bien que son rotor n'ait aucune connexion électrique avec le circuit extérieur.

L'énergie lui est transmise par l'intermédiaire du champ magnétique tournant produit par le stator qui l'entoure et qu'alimentent des courants polyphasés. C'est un exemple, notablement plus compliqué, de l'induction magnéto-électrique de Faraday.

Nicolas Tesla, Dobrovolsky, C. E. L. Brown et d'autres encore dépensèrent beaucoup d'efforts, vers la fin du xixe siècle, pour donner au moteur polyphasé une forme pratique. Il fut démontré que les courants triphasés (de phases différentes comme sont les impulsions dans une machine à trois cylindres) étaient supérieurs aux courants à deux phases ; ceux-ci exigent pour leur transport trois conducteurs, mais la transmission triphasée présente une telle économie sur la transmission monophasée, que son emploi est devenu presque universel.

LA GRILLE NATIONALE

EXPLOITATION ET CONTROLE

La Recherche des défauts

par P. V. Hunter

Lorsqu'on pense à la Grille nationale, l'attention est attirée, trop fortement peut-être, sur le réseau à 132 000 V en sous-estimant les réseaux secondaires à 30 000, à 11 000 et 400 V. Ces réseaux à tension inférieure doivent cependant, à mesure que la fourniture de l'énergie électrique se développera, prendre une importance croissante et finalement dépasser, par le capital investi et l'ampleur des opérations, le réseau à 132 000 V lui-même. Les lignes de transport fonctionnant à 132 000 V ne présentent pas, par elles-mêmes, de caractéristique technique bien nouvelle. Cette tension a été employée à l'étranger, depuis un grand nombre d'années, sur des lignes de construction semblable à celle de la Grille ; des conducteurs en aluminium, à âme d'acier, y sont suspendus, par des isolateurs, à des pylônes en cornières d'acier boulonnées. En fait, la seule particularité digne d'être notée est qu'ici l'installation est calculée pour que les conducteurs puissent supporter une épaisseur radiale de 12 mm de glace, ce qui correspond à un facteur de sécurité mécanique anormalement élevé. Il est vrai aussi que, par endroits, il a fallu employer des pylônes plus élevés qu'à l'ordinaire, pour la traversée d'estuaires navigables.

Le caractère qui différencie, des réseaux analogues posés ailleurs, la Grille à 132 000 V de Grande-Bretagne, est plus particulièrement son étendue et sa complexité. En effet, 5 000 km environ de circuits triphasés constituent un réseau compliqué ; la densité des lignes posées par unité de surface du territoire desservi est très élevée, si on la compare à celle des réseaux analogues existant partout ailleurs. Ce sont ces caractères d'étendue, de densité et de complexité, qui font de la Grille un problème technique de première importance, car ils concourent tous pour imposer la protection sélective automatique et le

contrôle complet du réglage de la charge et du fonctionnement des interrupteurs, si l'on veut assurer la fourniture dans des conditions satisfaisantes.

Installation des sous-stations

Les ingénieurs chargés d'établir la Grille ont divisé le réseau en un certain nombre de grands secteurs, possédant chacun un centre de contrôle, auquel parviennent automatiquement les informations les plus complètes sur les conditions d'exploitation et cela dans une mesure qui n'avait jamais été atteinte auparavant ; l'ingénieur de service a constamment devant les yeux toutes les modifications survenues dans la charge et toutes les dispositions prises sur le réseau. quelques secondes après leur réalisation. Ce service d'information s'ajoute intégralement aux dispositifs de protection, qui isolent automatiquement tout « feeder » ou tout transformateur sur lequel se produit un défaut. En plus de tout cela, il existe entre les centres d'exploitation un réseau complet de communications téléphoniques.

Les progrès faits dans l'installation des sous-stations se portent, de plus en plus, vers la réalisation du type extérieur, de préférence du type bas, plutôt que du type en hauteur, en raison de son meilleur aspect et de la plus grande accessibilité des appareils pour la surveillance et l'entretien.

Un nouveau pas a été accompli à Londres par l'adoption de disjoncteurs du type extérieur cuirassé dans les sous-stations à 66 000 V alimentées par câbles souterrains.

En ce qui concerne l'équipement des sous-stations, les disjoncteurs à huile constituent l'élément sur lequel se porte plus particulièrement l'attention des ingénieurs. La concentration de la distribution électrique en un seul réseau, impose évidemment des conditions plus sévères pour les disjoncteurs qui doivent couper un circuit en cas d'accident. L'importance de plus en plus grande de cette fonction est aggravée par le manque de toute connaissance précise sur la limite actuelle de la capacité de rupture des disjoncteurs de circuits individuels.

Nous devons nous féliciter de ce que l'on puisse maintenant se procurer chez nous des installations d'essai capables de produire des courts-circuits de 1 500 000 kVA. Les renseignements qu'elles nous fourniront, conduiront sans nul doute à des progrès beaucoup plus

rapides que dans le passé ; il était en effet nécessaire de nous reporter aux accidents survenus en service, pour nous procurer les données permettant de nouveaux perfectionnements techniques.

Les sous-stations contiennent, parfois, des transformateurs de dimensions hors de l'ordinaire.

Dans les réseaux secondaires à 33 000 V, la tendance du *Comité Central* est d'employer des pylônes en cornières, dans bien des cas où les entrepreneurs utilisaient d'ordinaire, dans le passé, des poteaux en bois créosoté.

On tente aussi et avec succès, de remplacer le poteau en bois par une construction en cornière de forme plus esthétique sur les lignes à basse tension, dans les rues de village et de petite ville.

Dans tout le réseau national, la tendance a sans aucun doute été, et elle persiste jusqu'à présent, à employer des lignes aériennes partout où cela est possible et de réserver les câbles souterrains, en raison de leur prix plus élevé, aux seuls cas où ils ne peuvent être évités. A cet égard, les fabricants de câbles ont, sans aucun doute, quelque retard à regagner. La réalisation d'un câble à haute tension à bon marché ne présenterait pas de difficultés sérieuses, si l'on s'attaquait résolument au problème ; la constitution d'une organisation commune de recherches, qui a été établie entre les principaux fabricants de câbles, est de nature à accélérer beaucoup les progrès en cette matière.

Emploi des câbles

Le câble rempli d'huile, que l'on essaye dans certains cas, n'a reçu jusqu'ici que des applications limitées, en raison des difficultés et du prix d'installation de l'équipement accessoire, surtout dans les régions à dénivellations nombreuses. Les réseaux secondaires exploités à des tensions basses, pour lesquelles les câbles sont couramment employés, présentent aussi un problème qui n'a pas été convenablement étudié. Ces réseaux seront principalement installés dans les districts ruraux, tandis que la pratique des câbles doit, dans une grande mesure, être adaptée aux conditions rencontrées dans les villes, où le prix de la tranchée et de la réfection constitue indubitablement une forte part du prix total et où les câbles doivent être soigneusement protégés contre les dommages accidentels causés par d'autres travailleurs.

D'une manière générale, la technique des câbles devra certainement s'adapter aux conditions rurales et, là où on y est arrivé, on a constaté que leur service meilleur, la meilleure répartition qu'ils assurent de

la tension, leur plus longue durée de vie, leurs moindres frais d'entretien, compensent l'importance de leurs frais d'installation par rapport aux lignes aériennes, pourvu que l'excès de ces frais ne dépasse pas 50 pour cent.

La plus grande partie des réseaux de distribution reste à construire et il faut espérer que des efforts seront faits pour assurer l'emploi des câbles partout où les conditions du terrain le favoriseront.

MANIPULATIONS CHIMIQUES

LA DÉCOUVERTE DU BENZOL PAR FARADAY

L'Amélioration des verres d'optique

par Sir Robert Robertson, F. R. S.

Nous sommes habitués à rencontrer, dans les travaux théoriques et pratiques de Faraday sur la chimie, des anticipations si frappantes, que leur étude tend à nous inspirer quelque prudence quand nous sommes tentés de lui attribuer des progrès qu'il ne prévoyait pas et, à la lueur de nos connaissances actuelles, des relations qui n'ont été établies que par ses successeurs.

Néanmoins, cette étude nous laisse pleins d'admiration, non seulement quand nous considérons la vigueur avec laquelle il s'attaquait au problème à résoudre, mais aussi, quand nous suivons les pas, qui nous paraissent comme inéluctables, accomplis vers sa solution.

D'autres articles de cette publication exposent le rôle fondamental joué, dans les théories modernes, par ses travaux sur les équivalents électrochimiques, ainsi que leur rapport avec les constituants positif et négatif de la molécule, tels que nous le connaissons aujourd'hui ; ils rappellent aussi la liquéfaction des gaz qui a abouti aux procédés modernes de réfrigération et à la préparation des gaz rares, qui sont aussi importants pour la science que pour l'industrie, et encore la production des alliages d'acier.

Dans le présent article, nous considérerons quelques autres travaux chimiques de Faraday. Sa technique expérimentale est décrite, avec les plus minutieux détails, dans un volume in octavo de plus de 600 pages. intitulé « Chemical manipulation ». C'est un traité sur les méthodes chimiques qu'il a toutes employées et, souvent, imaginées lui-même ; ce livre pourrait être étudié avec profit par ceux qui aujourd'hui s'initient à cette science ; car bien qu'il ait été gêné, faute de disposer des commodités de nos laboratoires modernes, telles que le brûleur Bunsen, les condenseurs de Liebig, les longs tubes de caout-

chouc, les pipettes de lavage, les robinets de verre, etc... on trouve dans son travail l'origine de nombreuses pratiques modernes et il évoque le temps où le chimiste devait être aussi un artisan.

Les sources de matières colorantes

La manière dont il appliquait ces méthodes d'artisan est exposée dans ses « Researches in Chemistry and Physics ». Nous en tirerons un exemple : celui de la découverte du benzol, en 1825.

Par distillation fractionnée, comme nous dirions maintenant, d'une huile tirée du « gaz d'huile », il obtenait un liquide dont la pureté était démontrée par la constance de ses points d'ébullition et de fusion et de ses autres propriétés physiques.

Dès lors, en partant des résultats quantitatifs d'une série d'opérations : évaporation, combustion de la vapeur, absorption des produits, il trouva, par un procédé qui force notre admiration, l'exacte densité de vapeur et la composition du corps. Celui-ci était le bicarbure d'hydrogène, ou benzol, comme nous l'appelons maintenant, substance appartenant à la même famille que des centaines de milliers de substances organiques connues, y compris les matières colorantes ou pharmaceutiques et les développateurs photographiques. Exactement de même que, 4 ans plus tôt, il avait obtenu la combinaison de l'éthylène et du chlore et isolé plusieurs composés nouveaux issus de cette réaction, son sens chimique le conduisit aussi à attaquer l'hydrocarbure nouvellement découvert par le chlore et d'autres réactifs. Il fit ainsi connaître les réactions chimiques du benzol, comme, une année plus tard, il démontra que le naphtol pouvait se combiner à l'acide sulfurique ; si donc nous ne pouvons revendiquer pour FARADAY la découverte des matières colorantes, du moins pouvons-nous dire qu'un premier pas fut fait, lorsqu'il montra que ces deux hydrocarbures, d'où dérivent tant de ces matières, réagissent sous l'attaque de réactifs appropriés.

Non seulement il mit en évidence les propriétés chimiques de ces corps, mais il montra comment on peut faire réagir certains d'entre eux sous l'action de la lumière.

Dans sa « Chemical manipulation », tout en recommandant un bon éclairage général du laboratoire, il conseille de disposer d'un emplacement directement exposé au soleil, « car, dit-il, nous avons reconnu que les rayons solaires ont une forte influence sur les transformations chimiques ».

Il en fournit un exemple frappant quand il constate le peu d'action entre la vapeur de benzol et le chlore, tant qu'il n'expose pas le mélange à la lumière solaire : ce type de réaction constitue la base même de la photo-chimie.

Isomerisme.

Au cours de ses recherches sur le gaz d'huile, il isola, outre le benzol, un autre hydrocarbure, dont il vérifia exactement les propriétés physiques et la composition. C'était, en réalité, du butylène ; il conclut, de la nature de ses composés chlorés, que ce corps lui fournit l'exemple d'une substance dans laquelle les éléments, carbone et hydrogène existent dans la même proportion que dans le gaz oléfiant (éthylène), mais sont dans un état de combinaison tout différent.

Faraday établit ainsi cette vérité nouvelle : des corps de même composition centésimale peuvent avoir des propriétés différentes ; c'est le phénomène de l'isomérisme, qui ne tarda pas à jouer un rôle important dans les théories chimiques, en particulier quand, en 1888, Wöhler montra, tout à fait indépendamment, que le cyanate d'ammonium peut être transformé en urée, qui avec la même composition. possède des propriétés chimiques entièrement différentes.

Liquides colorés.

Dans le but précis d'améliorer certaines matières, il entreprit deux séries de recherches, l'une, déjà signalée, sur l'acier, en vue d'obtenir des instruments doués de plus de mordant et un métal moins sujet à la corrosion ; l'autre sur les verres d'optique. Cette dernière, commencée à l'instigation de la *Royal Society*, fut très longue.

Elle impliquait la construction, à la *Royal Institution*, de fours de fusion et de recuit, le choix des matières premières et de leurs proportions ; elle impliquait aussi l'étude des propriétés, optiques et autres, des verres produits.

Le résultat pratique fut l'amélioration des objectifs de microscope ; de plus, un des spécimens du verre lourd de Faraday entra dans l'histoire, le jour où il l'employa, simultanément avec son électro-aimant, pour démontrer la rotation de la lumière polarisée dans un champ magnétique. Cette découverte éclaira d'une vive lueur sa conception de l'unité et de la convertibilité réciproque du magnétisme, de l'électricité, de la lumière, des forces chimiques et gravitationnelles bien que, pour ces dernières, il n'ait pu trouver la preuve qu'il cherchait.

La chimie et la physique de la matière à l'état de division extrême ont donné naissance à une littérature abondante depuis que GRAHAM a décrit, en 1861, l'état colloïdal, qu'il distinguait de l'état cristalloïdal de la matière. Cette distinction a perdu quelque peu de sa précision depuis que la lueur pénétrante des rayons X nous a renseignés sur la structure de la matière, mais FARADAY, dans sa conférence bakérienne de 1857, était amené à dire qu'un liquide, que nous appellerions aujourd'hui une « solution d'or colloïdal », contient ce métal à un état de division extrêmement fine. Les couleurs du verre rubis, dont l'or est un des constituants et des liqueurs bleues, rubis et jaunes, dans lesquelles les solutions d'or ont été réduites par des réactifs, fascinaient FARADAY ; les recherches qu'il entreprit sur cette question, furent un de ses derniers travaux.

Il existe aujourd'hui, à la *Royal Institution*, des flacons renfermant ces liquides rubis ainsi que des pellicules sur verre, résidus de leur évaporation, qu'il employait dans ses recherches. La manière dont se comportent ces liquides colorés, quand on les examine par réflexion et par transparence, ou qu'on les attaque chimiquement, puis qu'on les filtre, conduisit FARADAY à conclure que ce n'étaient pas des solutions d'or, mais qu'ils contenaient en suspension des particules d'or de très petites dimensions.

Cette déduction est entièrement confirmée par les rayons X, qui montrent que les particules sont de l'or métallique.

De même, il conclut que le verre rubis devait sa couleur aux particules d'or solide, disséminées dans sa masse. La petitesse de ces particules résulte de son estimation, d'après laquelle il y a 1 volume d'or dans 750 000 volumes du fluide rubis ; cette valeur s'accorde avec les évaluations de la grandeur des particules, obtenues ultérieurement à l'ultra-microscope.

La question de savoir par quoi peut être combattue la tendance de ces particules, finement divisées, à se coaguler avec des particules plus grandes, a joué un rôle important dans la chimie des colloïdes. Ici encore, FARADAY a reconnu que la couleur rubis est stabilisée par l'addition d'une gelée et, beaucoup plus tard, ZSIGMONDY, en observant le temps qui s'écoule jusqu'à la coagulation d'une solution colorée d'or, par addition de gélatine, de gommes et d'acide silicique, a évalué l'action protectrice de ces substances.

L'influence de substances étrangères, appelées « catalyseurs », qui déclenche des actions chimiques entre les principaux réactifs, a toujours éveillé un intérêt particulier chez les chimistes, depuis que

Davy et Döbereiner ont découvert que le platine spongieux détermine à froid la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène et avec certaines vapeurs combustibles ; Berzelius avait admis, sans nécessité, l'existence d'une force catalytique.

Grâce aux catalyseurs, les températures auxquelles les réactions se produisent peuvent être fortement abaissées et des corps de constitution très complexe peuvent se former à température modérée, au sein des liquides organiques, dans les animaux et les plantes.

Chimie et Industrie.

A titre de sous-produit, en quelque sorte, de ses travaux sur les équivalents électrochimiques, pour lesquels il employait comme indicateur un voltamètre à électrodes de platine, Faraday rechercha la cause des pertes en oxygène et en hydrogène produits et recueillis dans cet appareil ; il arriva à la conclusion qu'elles sont dues à l'action des pôles de platine sur les gaz ; une étude ultérieure des substances qui s'opposent à la combinaison, lui démontra la nécessité d'une propreté parfaite de la surface du platine. Il reconnut, en outre, que la combinaison se produit sur cette surface propre et qu'elle est due à « une attraction d'agrégation et d'affinité chimique, le rayon d'action des particules s'étendant au delà des autres particules qui leur sont immédiatement et évidemment unies ».

C'est l'hypothèse de l'adsorption superficielle à laquelle, dans sa forme moderne, on a ajouté la conception de l'orientation des particules ; elle diffère de celle basée sur la nécessité d'un composé intermédiaire et proposée par les Armstrong ; mais on peut les accorder en supposant l'existence d'une force directrice dépendant de quelque liaison chimique entre la surface catalytique et les corps réagissants. Les formes que revêt ce genre de réactions chimiques sont nombreuses et variées. Les réactions catalytiques jouent un rôle de première importance pour déterminer des réactions, non seulement dans les mélanges gazeux, mais aussi dans les processus vitaux, où interviennent les enzymes.

Beaucoup d'importants procédés industriels dépendent de la catalyse ; par exemple, la fabrication de l'acide sulfurique, en partant de l'acide sulfureux et de l'oxygène en présence du platine et, récemment, celle des composés du vanadium ; celle de l'acide nitrique, en partant de l'ammoniac et de l'air en présence du platine ; celle de l'ammoniac lui-même en partant de l'azote et de l'hydrogène en présence de l'oxyde de fer ; le durcissement des huiles par hydrogénation, en présence du nickel finement divisé comme catalyseur.

Nous avons pu ainsi nous faire quelque idée du génie pénétrant de FARADAY dans le domaine chimique. Son travail sur l'équivalence électrochimique est, bien entendu, fondamental ; il constitue la base des théories modernes et le fondement des grandes industries électrochimiques. Dans des questions comme celles du verre et de l'acier, dont l'amélioration était l'objet précis de ses recherches, ses travaux peuvent être considérés comme étant en avance sur son temps, tout au moins en ce qui concerne l'acier. Ses autres découvertes en chimie ont ouvert à l'industrie des domaines aussi étendus que divers. Ainsi, les réactions chimiques du benzol et du naphtol constituent, pour une grande part, cette branche importante de la chimie organique qui est celle des composés aromatiques.

La brillante lumière du soleil est employée pour produire des effets photo-électriques.

L'existence des corps isomères est démontrée par l'identité de composition, mais non de constitution, de ses composés du carbone.

On lui doit une explication de l'action catalytique du platine qui détermine des combinaisons chimiques, sujet qui a donné lieu à beaucoup de théories et dont le principe forme la base de nombre de grandes industries.

La matière et ses propriétés à l'état d'extrême division, comme dans ses solutions d'or, font l'objet d'une branche de la chimie d'importance croissante, connue sous le nom de chimie des colloïdes.

Ainsi, sans trop nous reporter au passé et en attribuant, aux origines, un avenir prophétique, nous trouvons dans les travaux de FARADAY les germes d'une grande partie de la science chimique d'aujourd'hui.

LA MAGNÉTO-OPTIQUE

LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE

par le Professeur P. ZEEMAN

« De tous les hommes qui ont consacré leur existence aux découvertes expérimentales, aucun n'a jamais approché MICHEL FARADAY, par le nombre, la variété et l'importance des phénomènes nouveaux que ses travaux ont révélés ». C'est en ces termes que Sir ARTHUR SCHUSTER résume, admirablement, le résultat final des travaux de FARADAY, dans le petit volume « Britain's Heritage of Science », édité par lui et par Sir A. E. SHIPLEY.

Si, parmi les découvertes de FARADAY, la première place doit être donnée à ses recherches sur l'induction électromagnétique et la seconde à ses travaux sur la décomposition chimique d'un liquide par le courant électrique, le troisième point culminant, dans le domaine de ses découvertes, est représenté par la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière ; c'est un des faits qui illustrent, de la manière la plus claire, son désir de trouver un lien commun entre toutes les forces que, dans les domaines variés de la physique, on regardait comme des entités séparées.

Les contemporains de FARADAY acceptèrent les splendides résultats qu'il annonçait, mais ils ne purent le suivre dans les vues théoriques qui guidaient ses recherches.

Son intelligence opérait sur les centres de force et sur les lignes joignant ces centres et il fixait l'acuité de sa vision mentale sur l'espace occupé par ces lignes.

Les idées qui conduisirent FARADAY à sa découverte fondamentale de la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière, autrement dit de l'effet FARADAY, sont résumées par lui dans le premier paragraphe des 19es séries (1845) de ses « Experimental researches in electricity ». Nous y lisons : « J'ai eu depuis longtemps l'opinion, qui atteint presque la valeur d'une conviction, partagée, je crois, par d'autres hommes passionnés pour les sciences naturelles, que les formes va-

riées sous lesquelles se manifestent les forces matérielles ont une origine commune ; ou, en d'autres termes, qu'elles sont en relations si directes et en une telle dépendance mutuelle, qu'elles sont transformables les unes dans les autres et exercent des actions équivalentes. Dans les temps modernes, les preuves de leur convertibilité se sont abondamment accumulées et l'on a commencé à déterminer leurs valeurs équivalentes ».

Arago avait découvert en 1811 que, quand un rayon de lumière polarisée dans un plan a traversé une lame de quartz dont la section est perpendiculaire à l'axe, son plan de polarisation, à la sortie, a tourné d'un certain angle. La façon la plus facile de réussir l'expérience est de placer deux prismes Nicol, ou tout autre appareil polarisant, devant une flamme de sodium, les prismes étant orientés de telle sorte que l'œil de l'observateur ne reçoive plus de lumière. Si maintenant, on introduit une plaque de quartz entre les prismes, la lumière passe de nouveau mais on peut l'éteindre par la rotation d'un des prismes. Ceci montre que la lumière reste encore polarisée dans un plan, mais que ce plan a tourné d'un certain angle. Cet angle est mesuré par celui dont le Nicol doit être tourné depuis sa première position correspondant à l'obscurité, jusqu'à la seconde ; la preuve que la rotation ne se produit pas à la surface de la lame de cristal, mais bien à l'intérieur, c'est que les mesures effectuées sur des lames d'épaisseurs différentes donnent un angle de rotation proportionnel à l'épaisseur de la lame employée.

Les vibrations linéaires du rayon, qui lui sont perpendiculaires, changent continuellement de direction dans l'espace pendant leur propagation : elles sont disposées, le long du rayon, comme les marches d'un escalier en colimaçon.

Le plan de polarisation, perpendiculaire aux vibrations, tourne du même angle. Quelques cristaux de quartz font tourner le plan de polarisation à droite, d'autres à gauche. Beaucoup d'autres cristaux font tourner le plan de polarisation. Des liquides, comme la térébenthine, les solutions de sucre, de tartrates, nombre d'autres substances, ont la même propriété.

En août 1845 Faraday recommença, pour la sixième fois, à chercher une relation entre la lumière et le magnétisme. Cette fois, il réussit. Il prit un morceau du verre lourd, au borosilicate de plomb, qu'il avait fabriqué pendant la première période de sa vie scientifique, alors qu'il cherchait à améliorer les propriétés du verre d'optique.

Un faisceau lumineux, émanant d'une lampe ARGAND, était polarisé et il l'observait à travers un prisme NICOL. Sur le trajet du faisceau polarisé, il plaça une plaque de verre lourd de 5 cm² et de 12,5 mm d'épaisseur ; elle se comportait dans le tube comme toute substance inactive dans le dispositif d'ARAGO.

Au moyen d'un puissant électro-aimant, il fit passer des lignes de force magnétiques, en même temps et dans la même direction que le faisceau lumineux. Le courant dans l'électro-aimant étant interrompu, le NICOL était tourné à la position d'extinction ; mais, lorsque FARADAY envoya un courant dans les enroulements, l'image de la flamme apparut aussitôt et resta visible tant que le courant fut maintenu. L'interruption du courant la fit disparaître instantanément.

Un fait nouveau et d'une extrême importance, venait d'être découvert, après une véritable lutte avec la nature.

Après avoir obtenu ce résultat, FARADAY inscrivit dans son journal, à la date du 13 septembre 1845, ce commentaire laconique : « assez fait pour aujourd'hui. »

•

Le phénomène découvert par FARADAY diffère essentiellement de la rotation naturelle du quartz. Quand la lumière traverse le quartz, puis est réfléchie en arrière, la rotation finale du plan de polarisation est nulle, tandis que la rotation dans le verre magnétisé est doublée, si la lumière est réfléchie en arrière le long des lignes de force magnétique. On le comprendra en se représentant que, si dans le champ magnétique, la lumière incidente passe du pôle nord de l'aimant au pôle sud, le faisceau réfléchi suit la direction opposée.

La découverte de FARADAY trouva bientôt divers champs d'application, et elle prit aussi de l'importance du fait de la création, par MAXWELL, de la théorie de la lumière, impliquant un éther unique pour la lumière, l'électricité et le magnétisme, comme FARADAY l'avait obscurément entrevu.

Etude des flammes

Pour en venir à des développements plus récents, le Dr KERR, de Glasgow, découvrit en 1876, que, lorsque la lumière est réfléchie par un miroir magnétisé, il se produit un léger changement dans l'état de polarisation. Cet effet peut être défini en gros comme une rotation du plan de polarisation, pouvant atteindre un demi degré dans le cas de la réflexion sur un miroir de fer.

De beaucoup plus grande importance est l'effet, découvert par

l'auteur en 1896 et qui implique les phénomènes produits en spectroscopie par un champ magnétique.

Quand une flamme, ou une étincelle électrique, émettant un spectre de raies, est placée dans un champ magnétique intense, le spectre est modifié. Chaque raie se sépare en plusieurs composantes, chacune ayant ses caractéristiques particulières de polarisation et d'intensité. Dans les cas les plus simples, on observe 2 ou 3 raies, 2 quand on regarde dans la direction du champ, 3 dans la direction perpendiculaire, mais, beaucoup plus fréquemment, on voit la raie primitive se résoudre en un grand nombre de composantes, jusqu'à 15 ou 20. Cette complication, ou ce qui paraît d'abord tel, s'est révélée être d'une grande valeur pour l'étude de la nature des forces à l'intérieur de l'atome.

Lorentz, s'appuyant sur sa théorie des électrons, a montré comment il était possible d'expliquer le triplet type et ses polarisations et cela peu après ma première publication, qui ne faisait état d'aucune théorie particulière.

Un beau théorème, de Sir Joseph Larmor, nous permet de décrire, d'une manière très simple, le mouvement de l'électron dans le champ.

Le signe et la charge spécifique de l'électron radiant ont pu être déterminées par moi dès le début de mes recherches. Mais ce n'est que récemment, grâce à l'introduction de l'hypothèse que l'électron constituerait lui-même un aimant, qu'il m'a été possible d'expliquer l'effet anormal, ce nom collectif des cas difficiles. Ceci même n'est pas le dernier mot sur le sujet, car on a montré que, de la structure superfine observée sur chacune des composantes après résolution, on pouvait tirer des notions sur le noyau même de l'atome. Une application pratique de la résolution magnétique des raies du spectre, est la mesure des champs magnétiques très puissants, découverts par Hale, à l'observatoire du Mont Wilson, dans les taches du soleil.

Comme conclusion, on peut noter que, en 1862, Faraday prit pour objet de ses dernières recherches expérimentales la relation entre la lumière et le magnétisme. Il entreprit, mais en vain, de déceler une modification, sous l'action d'un aimant puissant, des lignes du spectre d'une flamme. Il ne put déceler aucun effet, parce que, à cette époque, la puissance des spectroscopes et la technique des champs magnétiques étaient tout à fait insuffisantes. Des expériences concluantes ne purent être réussies qu'avec les spectroscopes à réseau de Rowland, que je pus appliquer en 1896 à l'étude d'un problème que Faraday, avec ses vues prophétiques extraordinaires, s'était posé dès 1862.

LE DIAMAGNÉTISME

LES PROPRIÉTÉS DES CRISTAUX

par le Professeur E. V. Appleton, F. R. S.

Dans son livre « de Magnete », publié en 1600, le Dr William Gilbert, médecin ordinaire de la Reine Elisabeth, exposa pour la première fois, d'une manière scientifique, les propriétés des aimants et donna une explication de l'orientation du compas magnétique en l'attribuant au fait que la terre est elle-même un aimant. Gilbert ne s'occupait que du fer et de ses composés, dont les propriétés magnétiques sont si remarquablement accusées. Il était réservé à Michel Faraday de rechercher les propriétés magnétiques de toutes sortes de substances, solides, liquides et gazeuses et de les grouper suivant leurs principales classifications.

L'emploi de méthodes beaucoup plus sensibles que celles dont avait pu disposer Gilbert, lui permit d'établir le fait général, qu'aucun corps connu n'est insensible aux forces magnétiques, si celles-ci sont suffisamment intenses.

Le fait qu'un aimant attire un clou de fer ou une aiguille d'acier est familier à tous. Moins connu est celui, noté pour la première fois par Brugmans en 1778, qu'un morceau de bismuth se comporte tout différemment : il est repoussé par l'aimant.

Ce ne fut cependant qu'à la suite des recherches très complètes poursuivies par Faraday qu'il fut reconnu que tous les autres corps se comportent, quoique à un degré moindre, soit comme le fer et l'acier, soit comme le bismuth. Faraday montra que les propriétés du fer et du bismuth devaient être regardées, non comme d'une nature exceptionnelle, mais seulement comme se manifestant à un degré exceptionnel. La réussite de ses expériences était due en partie à l'emploi de l'électro-aimant en fer à cheval, aujourd'hui célèbre, de la *Royal Institution*, qui lui permit d'obtenir une action magnétique intense. Mais elle était due aussi à la grande sensibilité de l'essai choisi pour déceler la propriété magnétique cherchée. Cet essai consistait à suspendre une

tige de l'échantillon à examiner entre les pôles d'un électro-aimant, au moyen d'un fil fin de 2 m de long. Après avoir laissé l'échantillon suspendu arriver au repos, sans que l'électro-aimant fût excité, on envoyait brusquement le courant d'excitation et on observait le déplacement de l'échantillon.

Faraday reconnut, comme il s'y attendait, que les tiges de substances magnétiques ordinaires telles que le fer, se plaçaient, sous l'influence du champ magnétique, suivant la ligne joignant les deux pôles de l'aimant. C'est ce qu'il appelait la position axiale. Mais, avec une tige de verre lourd, le résultat était entièrement différent. La tige se plaçait finalement, au repos, à angle droit avec la direction axiale, sa longueur étant perpendiculaire à la ligne joignant les deux pôles. C'est ce qu'il appelait la position équatoriale.

Ces résultats préliminaires conduisirent Faraday à soumettre à l'action de son aimant les corps les plus divers. Sels minéraux, tissus animaux et végétaux, toutes ces substances furent essayées. Il reconnut qu'elles se comportaient, soit comme le fer et elles devaient être appelées magnétiques, soit comme le verre ou le bismuth et elles devaient être rangées dans une classe nouvelle, celles des substances dites diamagnétiques. La variété des corps ainsi étudiés par Faraday est très remarquable.

En rendant compte de ses expériences devant la *Royal Society*, le 18 décembre 1845, il nota combien il avait trouvé étrange que des fragments de bois, des morceaux de bœuf ou de pomme, fussent attirés ou repoussés par l'aimant. Il alla jusqu'à dire que, « si un homme pouvait être suspendu et placé dans un champ magnétique, il s'orienterait équatorialement », car il avait reconnu comme diamagnétiques toutes les substances dont il est formé, y compris le sang.

Dans ce compte rendu, Faraday fait une mention spéciale de la lenteur du déplacement d'une baguette de cuivre, lenteur qu'il explique complètement par l'action des courants électriques induits dans la masse du métal. Ce sont ces courants que nous appelons maintenant courants de Foucault.

Le résultat de ses premières séries d'expériences ne permettait à Faraday de placer les gaz, ni parmi les corps magnétiques, ni parmi les diamagnétiques. Autant qu'il pouvait l'affirmer, ils ne manifestaient aucune propriété magnétique et il inclinait par suite à les placer, avec le vide, dans une classe intermédiaire. Mais, en 1847, il reprit l'étude de la question. Stimulé par la découverte qu'avait faite

Bancalari de la répulsion d'une flamme par un aimant, Faraday put démontrer qu'une flamme doit être classée comme diamagnétique. Ceci le conduisit à étudier de nouveau les propriétés des gaz et, cette fois, avec plus de succès, car il démontra que les gaz différaient certainement entre eux par la valeur de leurs propriétés magnétiques.

Action « magnéto-cristalline ».

Dans une dernière série d'expériences, Faraday étudia les relations entre les propriétés magnétiques et la forme cristalline. Il fut attiré vers cette question par les résultats embarrassants qu'il avait souvent obtenus en opérant sur le bismuth. Il avait l'habitude, pour l'examen magnétique, de fabriquer par fusion des cylindres de bismuth, qu'il laissait se solidifier dans un tube de verre. Ce procédé favorisait naturellement la formation de cristaux et ce fut sur des échantillons ainsi obtenus, qu'il releva des résultats anormaux. Quelquefois, ces masses allongées se refusaient à prendre la position équatoriale caractéristique du bismuth et de tous les corps diamagnétiques soumis à l'expérience.

Parfois elles se plaçaient obliquement et parfois suivant la direction axiale, comme une substance magnétique.

Cette constatation et d'autres semblables, faites sur un grand nombre d'autres corps cristallisés, amena Faraday à conclure qu'il avait affaire à des phénomènes complètement différents de ceux du magnétisme et du diamagnétisme observés par lui jusqu'alors. Il était convaincu qu'il s'agissait de forces moléculaires et il écrivait : « Il paraît impossible de concevoir ces résultats, autrement que par une réaction mutuelle de la force magnétique et de celle qu'exercent les unes sur les autres les molécules du cristal ». Il appela la nouvelle force, « magnéto-cristalline », et il formula à ce sujet cette loi générale : « La loi du phénomène paraît être que la ligne ou l'axe de la force magnéto-cristalline, (résultante des actions de toutes les molécules), tend à se placer parallèlement ou tangentiellement à la courbe magnétique, ou ligne de force magnétique passant au point où est placé le cristal. »

Il entendait par là que tout cristal possède un axe magnéto-cristallin, en relation avec sa forme cristalline, qui doit se placer axialement dans un champ magnétique uniforme. Sa conviction que la force magnécristalline devait être distincte des forces magnétiques et diamagnétiques, était basée sur cette observation qu'elle n'était ni une attraction, ni une répulsion, mais qu'elle produisait seulement des rotations.

Les observations de FARADAY sur la question prirent un regain d'intérêt lorsqu'on les rapprocha de certaines autres dues au Professeur PLÜCKER de Bonne qui, ayant à sa disposition un électro-aimant, établi avec les mêmes dimensions et avec la même puissance que celui de FARADAY, avait, lui aussi, cherché une relation entre les propriétés magnétiques et la forme cristalline. Opérant sur un simple cristal de tourmaline, qui se comportait en général comme un corps magnétique, il reconnut que, si on le suspend avec son axe optique dans un plan horizontal, il se comporte comme s'il était diamagnétique.

A la suite de ces recherches, PLÜCKER arriva à la conclusion que, si un échantillon de cristal était suspendu par un fil perpendiculaire à son axe optique, il se plaçait, sous l'influence magnétique, avec son axe optique dans la position axiale, si le cristal était optiquement positif, et dans la position équatoriale, s'il était optiquement négatif. Comme FARADAY, PLÜCKER insista sur le fait que ces effets étaient dus à une force indépendante et distincte des effets magnétiques et diamagnétiques de la masse générale du cristal.

Théories modernes

Les phénomènes embarrassants de l'action magnéto-cristalline, ne reçurent d'explication satisfaisante, ni de FARADAY, ni de PLÜCKER. Il était réservé au Professeur J. TYNDALL, successeur de FARADAY à la *Royal Institution*, de la faire connaître. TYNDALL montra qu'un champ magnétique, agissant sur un corps diamagnétique, y induit des pôles de sens opposé à ceux induits sur un corps magnétique. Ce point établi, TYNDALL n'avait plus qu'à supposer que les propriétés diamagnétiques ou magnétiques étaient différentes le long des différents axes d'un cristal, pour expliquer, par une théorie purement mécanique. les divers effets observés par FARADAY et par PLÜCKER.

A la relation générale, établie par PLÜCKER entre les propriétés magnétiques et optiques d'un cristal, les recherches expérimentales très complètes de TYNDALL révélèrent quelques exceptions. Des découvertes remarquables sur les rapports entre les propriétés magnétiques et le clivage des cristaux sortirent aussi de cette série de recherches.

FARADAY avait dit que la force magnéto-cristalline n'était ni une attraction, ni une répulsion et qu'elle n'était ni magnétique, ni diamagnétique. Jusque là, il avait raison, car elle n'est ni l'une ni l'autre, mais la résultante des deux. Les problèmes de la force et de l'action magnéto-cristalline ont cessé de se poser ; seuls subsistent ceux du magnétisme et du diamagnétisme.

Quoique la découverte du diamagnétisme eût été faite par FARADAY dès 1845, ce ne fut qu'en 1905 que fut proposée une théorie acceptable du phénomène. AMPÈRE et WEBER avaient suggéré que les effets magnétiques dans le fer et l'acier pouvaient être attribués à l'existence de courants électriques intérieurs. L'effet magnétique était ainsi regardé comme résultant de l'action de millions de circuits électriques de grandeur moléculaire. La structure attribuée à ces magnétons, comme on les appelle maintenant, a varié avec le temps, suivant les théories physiques à la mode. Au temps de WEBER, on supposait que chaque circuit moléculaire consistait en « un courant électrique continu, circulant dans un sillon sans résistance »; plus tard, ce fut un électron, circulant à vitesse élevée, le long d'un orbite moléculaire, tandis qu'actuellement c'est l'électron à mouvement de navette qui est en faveur

En 1905, LANGEVIN, écrivant à une époque où le mouvement des électrons sur des orbites circulaires était considéré comme constituant les éléments magnétiques ultimes, montra comment pouvait s'expliquer la différence entre les corps magnétiques et diamagnétiques. Admettant ce mouvement des électrons, il indiqua qu'un champ magnétique devait changer leur vitesse et; d'autre part donner à tous les orbites une même orientation. La déviation des orbites devenait la cause de l'effet magnétique, tandis que la modification de la vitesse orbitale produisait l'effet diamagnétique. En d'autres termes, les corps seraient intrinsèquement et à la fois, magnétiques et diamagnétiques, les propriétés extérieures de chaque substance étant déterminées par celle des deux influences qui est prépondérante.

Les idées de LANGEVIN se sont révélées comme fructueuses et stimulantes et, avec quelques modifications récentes, elles paraissent avoir réussi à expliquer, pour une grande part, les phénomènes magnétiques. Mais le sujet se trouve être fort compliqué par une difficulté concernant la classe des substances magnétiques. Les propriétés des corps appartenant à la classe diamagnétique ne diffèrent pas notablement en degré, tandis que, dans la classe magnétique, les différences de grandeur des qualités magnétiques sont énormes. Cette grande diversité rend très difficile d'établir une théorie magnétique embrassant, comme FARADAY voulait le faire, « les propriétés magnétiques de toutes les substances ».

RÉCEPTEURS MODERNES DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

SÉLECTIVITÉ ET VOLUME

Radio-Gramophones.

par le Professeur W. H. Eccles, F. R. S.

La radio-diffusion est une des branches d'un sujet plus général, connu sous le nom de radio-téléphonie. Elle s'est rapidement développée et des stations émettrices, en nombre croissant et de puissance toujours plus grande, ont été établies au cours des 10 dernières années. A première vue, cet accroissement des stations semble tout à l'avantage de l'auditeur, mais en fait, si celui-ci ne dispose que d'un récepteur simple, il entend simultanément deux ou trois programmes, si les longueurs d'ondes transmises par les postes sont à peu près les mêmes, d'où confusion et exaspération. Aussi, quand le nombre des stations émettrices a augmenté, les appareils récepteurs ont ils été modifiés en vue de faciliter l'accord avec la station désirée et de l'éviter avec celles de longueurs d'ondes différentes.

Le poste employé au début de la radio-diffusion était essentiellement constitué d'un fil aérien, ou antenne, interceptant les ondes et devenant le siège de forces électriques qui leur étaient proportionnelles. Cette antenne était couplée à un circuit oscillant, comportant généralement une bobine d'inductance et un condensateur réglable ; il pouvait être accordé sur les ondes reçues, en ajustant le condensateur; dans ce circuit, les forces électriques existant dans l'antenne, produisaient des courants de circulation oscillatoires, qui, par résonance, développaient des forces électriques beaucoup plus grandes que celles de l'antenne. Dans les appareils les plus simples, ces oscillations électriques agissaient directement sur un détecteur, qui les convertissait en un courant de direction unique ; mais, dans les appareils plus compliqués, les oscillations du circuit accordé traversaient un amplificateur à haute fréquence, avant d'aller au détec-

teur ; d'où cette conséquence, que les courants redressés étaient beaucoup plus intenses que dans le premier cas. De plus, ces courants redressés passaient dans un amplificateur à basse fréquence, lorsqu'ils devaient actionner un haut parleur, au lieu d'un téléphone.

D'autre part, la station transmettrice a pour fonction de modifier l'énergie des ondes suivant celle des sons émis devant le microphone du studio ; c'est ce qu'on appelle la modulation.

En conséquence, le courant redressé sortant des détecteurs d'écoute varie aussi, dans le temps, avec le courant déterminé par les sons dans le microphone du studio. Ainsi, quand les courants redressés traversent le téléphone ou le haut parleur de l'auditeur, le résultat est en grande partie le même que si ces appareils étaient reliés directement au studio. Les récepteurs employés aujourd'hui sont, en principe, les mêmes que jadis, mais ils ont été munis de parties additionnelles dans le but d'accroître la sélectivité et, dans bien des cas, le volume du son débité.

Portée et Puissance.

Les récepteurs à cristal utilisent, comme détecteur, le contact entre cristal et métal, ou entre deux cristaux. Ils comportent, soit un seul circuit accordé, soit deux circuits, le second type étant plus sélectif. Le récepteur à circuit unique peut réussir à séparer deux émissions d'égale force, même si elles sont suffisamment voisines pour pouvoir être entendues fortement au casque, si l'antenne n'est pas grande et si le détecteur est branché sur une fraction de la bobine. On tend maintenant à remplacer ces récepteurs par des récepteurs à meilleur marché, à une lampe, qui ont le même circuit et utilisent aussi des casques. L'emploi de la réaction dans les récepteurs à une lampe permet d'accroître considérablement la sensibilité et de recevoir les émissions de stations éloignées. Quand la lampe est une pentode, c'est-à-dire si elle est munie de 5 électrodes, il est possible de faire fonctionner un haut parleur à une distance modérée de la station transmettrice.

Des récepteurs à deux lampes, pour la réception de la station locale sur haut parleur, ont été très en faveur, le dispositif comportant de préférence une lampe détectrice par courbure de la caractéristique grille et une lampe amplificatrice basse fréquence. L'emploi judicieux de la réaction permet d'obtenir une bonne audition des stations étrangères les plus rapprochées; mais les postes à deux lampes qu'on trouve

sur le marché ne prétendent pas à une grande sélectivité. Les postes modernes à trois lampes comprennent généralement une lampe à grille-écran pour l'amplification des oscillations de haute fréquence, une lampe détectrice et une pentode ou lampe de puissance, comme amplificatrice à basse fréquence. La sélectivité s'obtient en accordant les circuits de grille et d'anode de la lampe à haute fréquence.

Les postes à quatre lampes comprennent d'ordinaire deux lampes à grille-écran pour l'amplification à haute fréquence, une lampe détectrice et une amplificatrice à basse fréquence ; mais quand le poste est du type transportable, il comporte généralement une seule lampe à haute fréquence et deux lampes à basse fréquence. Dans ces postes, il est désirable d'obtenir une bonne sélectivité et on y arrive maintenant en employant des filtres passe-bande. Ces filtres consistent en deux ou trois circuits couplés qui sont combinés, suivant des principes bien établis, pour ne laisser passer de l'antenne à la première lampe qu'une bande étroite de longueurs d'ondes. En théorie, cette bande de longueurs d'ondes devrait être juste assez large pour permettre le passage des ondes de toutes les stations que l'on désire entendre, modulées par une note haute, par exemple de quatre octaves au-dessus du C moyen et pour arrêter les autres.

Les récepteurs super-hétérodynes conviennent spécialement aux conditions modernes, car ils offrent de hautes possibilités sélectives. Les meilleurs ont un étage à grille-écran, destiné à amplifier les oscillations à haute fréquence reçues, un oscillateur séparé réglable pour superposer une fréquence locale, de manière à donner, aux oscillations reçues, une fréquence intermédiaire constante ; un amplificateur à grille-écran de fréquence intermédiaire avec filtre passe-bande et un étage amplificateur basse fréquence, placé après le second détecteur.

Récemment, la télégraphie sans fil a été associée au gramophone. Celui-ci a suivi le développement de la méthode électrique de reproduction des enregistrements phonographiques. Dans cette méthode, l'aiguille qui suit les rainures de l'enregistreur est liée mécaniquement à un aimant, ou à une bobine mobile, de manière à engendrer des courants acoustiques pouvant être entendus dans un téléphone. Ces courants peuvent traverser un amplificateur à basse fréquence et être amplifiés dans toute la mesure voulue pour actionner un ou plusieurs haut-parleurs.

Puisque l'étage amplificateur à basse fréquence d'un récepteur sans

fil est identique à celui d'un gramophone électrique, il est aisé d'obtenir que les courants, engendrés par le pick-up du gramophone, passent à la place appropriée dans le récepteur sans fil, pour être reproduits par les hauts parleurs de l'installation. C'est ainsi qu'a été réalisé l'appareil combiné appelé radio-gramophone. D'ordinaire, le plateau du gramophone est placé sous un couvercle à charnière à la partie supérieure du meuble; le récepteur sans fil, dans un châssis métallique, est contenu dans l'armoire placée au-dessous; le cône du haut parleur s'ouvre sur un côté de l'armoire, qui est perforé de façon à former une grille ornementale. Ces postes sont généralement alimentés par le courant du réseau, plutôt que par des batteries ou des moteurs à ressort.

L'ÉLECTRO-CHIMIE

FARADAY ET LES LOIS DE L'ÉLECTROLYSE

Naissance de nouvelles industries.

par le Professeur F. G. DONNAN, F. R. S.

La nature des relations entre les phénomènes électriques et chimiques forme une des branches les plus importantes et les plus attrayantes de nos connaissances, leur étude expérimentale et leur interprétation théorique, ont très grandement contribué au développement des deux sciences, Chimie et Electricité.

D'actives recherches commencèrent dans ce domaine à la fin du dix-huitième siècle, alors que le seul appareil dont on disposait était la machine électrique à frottement, produisant de l'électricité à haut potentiel, mais en quantité relativement faible.

Des résultats remarquables furent cependant obtenus par le savant hollandais VAN MARUM et ses collègues, qui avaient à leur disposition la très puissante machine électrique dont la construction avait été rendue possible par la fameuse fondation TEYLER.

Les décharges permirent de décomposer divers gaz : de réduire l'eau à ses constituants, de convertir des métaux en « chaux » (oxydes métalliques) ; diverses « chaux » furent revivifiées, c'est-à-dire décomposées en métal et oxygène.

HENRY CAVENDISH, en Angleterre, fit cette découverte remarquable que l'air atmosphérique pouvait être converti, par les décharges électriques, en acides nitreux et nitrique. La fin du dix-huitième siècle et les premières années du dix-neuvième siècle virent un grand et merveilleux progrès. L'anatomiste et physiologiste italien, ALOYSIUS GALVANI, avait découvert ce qu'il croyait être « l'électricité animale ». Il constata que si les nerfs cruraux et les muscles des pattes d'une grenouille, fraîchement disséquée, étaient reliés extérieurement par des conducteurs métalliques, il se produisait de violentes contractions musculaires, semblables à celles induites par les décharges électriques. Il pensa que cet effet était dû à la décharge de l'électricité animale, accumulée dans les tissus musculaires.

La batterie voltaïque.

Cette théorie erronée fut bientôt corrigée par le fameux physicien italien, Alessandro Volta, qui montra que le mécanisme nerfs-muscles de la grenouille agissait simplement comme un détecteur sensible de courants électriques et que le courant se produisait, en réalité, au courant de métaux différents, séparés par un conducteur humide. C'est de là que sortit la fameuse pile de Volta, ou batterie voltaïque, l'ancêtre de la batterie primaire d'aujourd'hui et qui consistait en une série de paires de métaux, disposées en tandem, chaque paire de métaux différents étant séparée par un « conducteur mouillé ». La batterie voltaïque se répandit dès lors rapidement. La science fut bientôt mise en possession d'une arme nouvelle, susceptible de produire de l'électricité par grandes quantités. Les effets chimiques de cette électricité étaient surprenants et ils furent ardemment étudiés par les expérimentateurs, en de nombreux pays. Au premier rang de ceux-ci était le brillant et jeune professeur de la *Royal Institution*, nouvellement fondée dans Albemarle-Street, Humphry Davy. Au moyen d'une forte batterie voltaïque, il réussit à décomposer les alcalis caustiques et découvrit ainsi les métaux sodium et potassium. Ce fut un des premiers triomphes scientifiques de la *Royal Institution.*

La décomposition des substances chimiques par un courant électrique est connue sous le nom d'électrolyse. L'assistant et successeur de Humphry Davy à la *Royal Institution*, Michel Faraday, découvrit les deux principales lois quantitatives qui la gouvernent, soit la proportionnalité de la décomposition chimique à la quantité d'électricité employée, (c'est-à-dire au produit du courant électrique par le temps), et la proportionnalité des poids des divers corps, libérés par une même quantité d'électricité, à leurs poids de combinaison chimique. Faraday établit ainsi un rapport étroit entre l'électricité et la combinaison chimique. Bien des années après, le fameux physicien allemand Hermann Helmholtz, dans sa conférence commémorative sur Faraday, prononcée devant la *Chemical Society*, fit ressortir que les lois de Faraday sur l'électrolyse impliquaient l'existence d'atomes d'électricité. Ainsi fut pressentie l'existence de l'électron, la grande et fondamentale découverte, faite par Sir J. J. Thomson, à la fin du dix-neuvième siècle.

Théorie d'Arrhenius.

Les substances dont les solutions aqueuses conduisent le courant électrique sont les sels, les acides et les alcalis. Ces « électrolytes » sont formés de deux constituants, polarisés, c'est-à-dire portant des charges de signes inverses et que Faraday a appelé des « ions ».

Les recherches du Professeur allemand Hittorf, à l'*Université de Münster*, ont jeté beaucoup de lumière sur les déplacements relatifs de ces ions dans les solutions qui conduisent le courant électrique. Il s'éleva, toutefois, de nombreuses controverses, sur la « durée d'existence libre » de ces constituants polarisés d'électrolytes en solution. La libération des ions aux électrodes était-elle due, comme le supposait le Baron von Grothuss, à l'orientation, suivant une chaîne, des molécules d'électrolyte sous l'action de la force électrique, à la libération des constituants aux extrémités de la chaîne, avec neutralisation par la charge des électrodes et à la recombinaison simultanée tout le long de la chaîne ? ou bien, dans une solution électrolytique, les ions étaient-ils, comme le voulait Clausius, libérés occasionnellement pour une très courte durée, limitée par la probabilité d'une rencontre très rapide avec les molécules voisines ?

Toutes ces questions et beaucoup d'autres connexes furent résolues par la théorie de la dissociation électrolytique (ionisation dans une solution) du fameux Professeur suédois Svante Arrhenius, dont l'œuvre a été appuyée et amplement confirmée par les importantes recherches de Kohlrausch, Ostwald, et van't Hoff. La théorie d'Arrhenius permit de déterminer quantitativement les concentrations des ions dans une solution électrolytique. On reconnut que les sels, les acides et les bases en dissolution aqueuse, se dissocient facilement en ions.

Bien que modifiée en certains détails, la théorie de l'ionisation d'Arrhenius a soutenu l'épreuve du temps ; elle constitue indubitablement l'une des plus grandes découvertes qui aient jamais été faites dans la science. La théorie ionique d'Arrhenius permit à Nernst d'établir une théorie quantitative de la force électromotrice des piles électriques et d'apporter ainsi une solution satisfaisante à un problème qui avait donné lieu à tant de controverses depuis l'époque de Volta.

Une pile ou batterie voltaïque, engendrant un courant, produit de l'énergie sous forme électrique. Quelle est la source de cette énergie ? La loi de conservation de l'énergie avait été découverte au XIX[e] siècle.

Il était donc naturel d'égaler l'énergie électrique produite à l'énergie chimique utilisée dans la batterie. En ce faisant, toutefois, on négligeait deux autres possibilités, car une certaine portion de l'énergie chimique pouvait se transformer en énergie calorifique, ou encore une portion de l'énergie calorifique existante pouvait se transformer simultanément en énergie électrique. La solution correcte du problème fut donnée par WILLARD GIBBS en Amérique et postérieurement par HELMOLTZ en Allemagne. Le fonctionnement de la batterie fut ainsi mis en plein accord avec les lois de la thermodynamique et la théorie de l'énergie.

Atomes de matière

Ce très rapide exposé des découvertes électro-chimiques nous mène jusqu'au début du vingtième siècle. Que dirons-nous de la période suivante, celle de ces trente dernières années ? La merveilleuse découverte des deux unités d'électricité — l'électron, par Sir J. J. THOMSON, et le proton, par Lord RUTHERFORD — nous a amenés à admettre que les atomes de matière sont formés d'électricité. A un certain point de vue, par conséquent, toute la chimie est électrochimie. Les lois des combinaisons chimiques ne peuvent être exposées qu'en parlant d'électrons, tandis que la constitution des atomes ne peut l'être qu'en parlant de protons et d'électrons.

Nous n'avons plus le droit de considérer la physique et la chimie comme deux sciences séparées. Le monde matériel est un monde physico-chimique ; il n'y a plus qu'une seule science : la science physico-chimique.

Les découvertes électro-chimiques des 130 dernières années ont donné naissance à de grandes et importantes industries. L'aluminium, ce métal si utile, s'obtient en électrolysant une solution d'alumine (tirée du minerai appelé « bauxite ») dans un bain de cryolithe (fluorure double de sodium et d'aluminium).

200 000 tonnes de ce métal sont ainsi produites chaque année. Le sodium et le potassium s'obtiennent en électrolysant les alcalis en fusion. Le magnésium, le calcium et le béryllium, sont fabriqués par électrolyse de mélanges de sels fondus. La soude et la potasse caustiques, le chlore, les hypochlorites alcalins, les chlorates et les perchlorates, sont produits par l'électrolyse de solutions aqueuses de chlorures de sodium et de potassium. Le cuivre métallique est raffiné par électrolyse et le zinc métallique est maintenant produit industriellement par électrolyse de solutions acides de sulfate de zinc. L'eau oxy-

génée, important agent d'oxydation, de blanchiment et de stérilisation, peut être fabriquée par électrolyse. Les gaz hydrogène et oxygène, sont obtenus à un haut degré de pureté par l'électrolyse de l'eau, en présence d'électrolytes convenables. On prépare l'ozone par l'action de la décharge électrique silencieuse sur l'oxygène et, en Norvège, on fabrique les nitrates en faisant passer l'air dans l'arc électrique. De grandes quantités de carbure de calcium (qui sert à fabriquer l'acétylène et la cyanamide calcique) et une grande partie de l'acier et des ferro-alliages, sortent du four électrique.

Les grandes industries de la galvanoplastie et de la galvanisation fournissent des exemples d'application de l'électrolyse à des besoins courants. L'art moderne de l'illustration des livres, revues et journaux, relève pour une grande part de l'électrolyse.

Les batteries voltaïques, primaires ou secondaires, (telles que l'accumulateur au plomb) reçoivent des applications nombreuses : téléphones, postes récepteurs de T. S. F., automobiles, camionnage, éclairage domestique, accumulation d'énergie électrique dans les stations centrales et dans les laboratoires scientifiques et d'autres encore.

En vérité, nous pouvons dire que la science électrochimique a donné naissance à de grandes et importantes industries et que ses applications se prêtent à des besoins aussi variés qu'utiles, dans toute communauté moderne.

L'avenir assurément nous réserve de plus grandes réalisations encore. Le physicien et l'ingénieur électricien travaillent constamment pour arriver à produire et à distribuer de l'énergie électrique sous d'énormes potentiels, (correspondant à une très haute pression ou à une très grande vitesse des électrons et des protons). La matière, telle que nous la connaissons aujourd'hui, sera probablement ramenée à ses constituants les plus ultimes et reconstituée sous des formes nouvelles, encore inconnues. Les électrons et les protons libérés recevront des vitesses opposées et si élevées que leur choc pourra les réduire en énergie radiante. Quelque grandes qu'aient été les découvertes des 100 dernières années, le bicentenaire de Faraday, en 2031, enregistrera certainement bien des choses dont nous ne pouvons guère nous faire une idée aujourd'hui. La riche corne d'abondance de la nature tient en réserve, pour l'humanité, bien des présents d'une valeur inconnue.

UN SIÈCLE DANS L'INDUSTRIE DES TRANSPORTS

L'AVÈNEMENT DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Des charrettes aux chemins de fer

par le Dr S. Parker Smith, D. Sc.

L'idée d'employer l'électricité pour la traction remonte presque à un siècle. Que ces essais, faits avec des moteurs du type à courant interrompu, prenant leur énergie à des batteries de piles, aient été condamnés à échouer, il n'y a guère lieu de nous en étonner. Le Professeur Jacobi, de Saint-Pétersbourg propulsa, en employant l'énergie électrique, un petit bateau sur la rivière Neva; il communiqua à Faraday, en 1839, les résultats obtenus. Leur publication par Faraday dans « London Philosophical Journal » détermina la venue au jour, grâce au Professeur Forbes, d'Aberdeen, des travaux de son concitoyen Robert Davidson. Cet inventeur avait entrepris la construction de la première voiture électrique dès 1837 et, en septembre 1842, une locomotive de 5 t, construite par lui, fit des trajets d'essai à la vitesse d'environ 6 km/h, sur la ligne Edinburgh-Glasgow, alors en construction. Cette machine fut finalement brisée, à Perth, par des ouvriers de chemins de fer, qui en étaient jaloux.

En 1841, l'américain Henry Pinkus prit en Angleterre des brevets qui faisaient prévoir le système de traction électrique moderne, avec station centrale, rail de retour et dispositifs de prise du courant sur la locomotive ; mais ce ne fut que vers 1860 que la dynamo à courant continu fut mise au point par des inventeurs d'Europe et d'Amérique, travaillant indépendamment les uns des autres.

La découverte, plus récente, de la réversibilité de la génératrice et du moteur, qui constitue une application pratique de la grande loi de l'induction électro-magnétique de Faraday, conduisit au développement industriel de la traction électrique.

A l'exposition de 1879 à Berlin et à celle de 1881 à Paris, la Maison

SIEMENS exhiba un exemple pratique de transport par l'électricité et ce fut en cette même année 1881 qu'une courte ligne fut ouverte au trafic à Lichterfelde, Berlin. Le premier chemin de fer électrique public dans les îles Britanniques fut la ligne de la Chaussée des Géants, près de Portrush, dans le Nord de l'Irlande, qui fut électrifiée en 1883 par SIEMENS Brothers, de Woolwich et par le Dr JOHN HOPKINSON. Une centrale hydraulique fournissait du courant continu à 250 V à un troisième rail, placé le long de la voie. La même année, le chemin de fer électrique de VOLK, à Brighton, était mis en service.

Réseaux de Tramways

Pendant plusieurs années après que la possibilité de la traction électrique eût été ainsi démontrée, les choses restèrent en un état assez chaotique, en raison de la grande diversité des solutions adoptées par les praticiens. Vers 1890, toutefois, apparurent des signes de normalisation et l'extension des tramways électriques et des chemins de fer sur route progressa rapidement. Le courant continu de 500 à 600 V, le trolley aérien, les moteurs-séries avec fonctionnement série-parallèle (dû à HOPKINSON), les moteurs à engrenages à suspension par le nez et les commutateurs à soufflage magnétique, établirent peu à peu la supériorité de ce mode de traction et, au bout de peu d'années, presque toutes les grandes villes de ce pays eurent leur réseau de tramways.

Parmi les derniers perfectionnements accomplis, on peut noter la fermeture et la ventilation des moteurs, l'adoption des pôles supplémentaires, des amortisseurs, l'amélioration des engrenages et divers raffinements de construction.

En dehors du trolley, divers systèmes à plots ou à caniveau furent essayés, avec plus ou moins de succès, dans le but d'éviter le fâcheux aspect du système aérien. En dépit de son prix de revient élevé, le système à caniveau fut adopté sur le territoire de Londres. Ainsi, les tractions urbaines par chevaux, par câbles et à vapeur furent progressivement supprimées. Les progrès de la technique sont, toutefois, rapides et pendant la durée d'une seule génération, la concurrence des autobus à essence était devenue tellement active qu'un rapport officiel, de 1930, proclamait le tramway complément désuet.

La substitution au trolley d'un conducteur ou d'un rail en charge et l'emploi de moteurs plus puissants, permirent d'appliquer à la grande traction le système employé sur les tramways.

La compagnie du Chemin de Fer Aérien de Liverpool inaugura l'exploitation électrique en 1893, en vue de supprimer les risques d'incendie dans les docks. Le City et South London Railway, le premier « Tube », quoique prévu en funiculaire, adopta dès ses débuts, en 1890, les locomotives électriques. L'invention par Sprague, en 1895, du système à unités mutiples, rendit possible les auto-motrices ; le système à courant continu 600 V avec auto-motrices et remorques et quelquefois avec un quatrième rail comme conducteur de retour, est maintenant normalisé sur toutes les lignes de Londres.

A New-York et à Paris, l'électrification fut rapidement appliquée à des lignes de banlieue ; d'autres grandes villes ont maintenant des lignes électrifiées, soit au niveau du sol, soit aériennes, soit souterraines.

Sans la traction électrique, l'exploitation actuelle en ligne souterraine ou en tube ne pourrait même pas être imaginée.

En dehors des lignes en tube, il y a maintenant en Grande-Bretagne 900 km de lignes suburbaines ou métropolitaines électrifiées, soit en exploitation, soit en construction. La plupart se trouvent à Londres ou en Angleterre même et le système adopté presque partout est celui du courant continu à 600 V avec troisième rail.

L'électrification des lignes principales

On comprendra facilement qu'aussitôt démontrée la possibilité du transport par l'électricité, son application aux lignes principales ait été étudiée avec ardeur.

Au commencement du siècle, beaucoup de pays portaient à ce problème une attention sérieuse. Pour apprécier les conditions qui ont prévalu à cette époque, il faut se représenter que les applications du courant électrique, sous forme de puissance mécanique, étaient relativement peu développées et que les conditions économiques de la fourniture d'énergie n'étaient pas aussi bien connues que maintenant. Le système triphasé à 60 p:s n'avait pas été normalisé, le convertisseur synchrone à 50 p:s et le redresseur à mercure, devaient encore être mis au point. Les locomotives à commande par engrenages, autre que la simple suspension des tramways, ne virent le jour que plus tard et le problème de la transmission aux roues de la puissance des moteurs suspendus sur ressorts, présentait de grandes difficultés.

Un grand nombre des solutions essayées comportaient des bielles ou d'autres mécanismes à mouvement alternatif, application directe de ce qui était pratiqué sur les locomotives à vapeur.

Les problèmes secondaires, tels que celui de l'induction entre les circuits d'énergie et les circuits de signalisation, prirent dès le début une grande importance et devinrent des facteurs déterminants pour le choix du système à adopter. Il n'est donc pas étonnant que la « bataille des systèmes » ait commencé de suite.

Bientôt des objections furent faites au courant à 600 V, en raison de son coût élevé pour l'exploitation à grande distance, mais l'emploi du courant continu à de plus hautes tensions posait des problèmes techniques qui n'avaient pas encore été résolus. Le système triphasé présentait pour la grande traction des inconvénients qui lui étaient inhérents : la fréquence de 50 p:s était trop élevée pour des moteurs de locomotive sans engrenages ; le réglage de la vitesse, très compliqué, ne pouvait avoir qu'une amplitude très limitée ; enfin, l'emploi de deux lignes aériennes à potentiels différents est dispendieux et gênant aux aiguillages et aux croisements de voies. Restait le système monophasé et, sous ce rapport, deux faits furent bientôt reconnus : le manque d'adaptation à la traction, des moteurs d'induction monophasés et la nécessité du moteur à collecteur pour l'obtention des mêmes caractéristiques à vitesse variable, qu'avec le moteur à courant continu.

Peut-être aucun autre moteur ne fut-il étudié dans cette première période avec plus d'enthousiasme que le moteur monophasé à collecteur. Parmi les types variés qui furent alors essayés, le moteur-série surpassa tous ses rivaux et son emploi se répandit largement. Son succès cependant exigeait l'adoption d'une basse fréquence, de 25 ou 16,2/3 p:s, ce qui constituait un grave compromis.

Pour une installation de production et de conversion de courant triphasé à 50p:s, le système monophasé à 16,2/3 p:s n'offrait pas d'avantage marqué, au point de vue de la conversion et de la distribution, sur le courant continu à haute tension qui venait de se développer.

Comme alternative au moteur monophasé à collecteur, le système dit « split-phase » dans lequel le courant monophasé est converti en polyphasé sur la locomotive, pour alimenter des moteurs à induction, fut adopté dans les limites restreintes, mais parmi d'autres inconvénients il présentait celui de la difficulté de réglage de la vitesse.

Presque tous les systèmes possibles avaient été mis à l'épreuve au cours de cette période. Le résultat fut qu'on put prédire à coup sûr que tout pays d'Europe devant adopter à l'avenir et pour la première fois la traction électrique sur ses lignes, emploierait le courant continu à haute tension (1 500 V ou au-dessus), et prendrait l'énergie sur un réseau national triphasé à 50 p:s. Ce système, avec troisième rail

jusqu'à 750 V et conducteur aérien jusqu'à 1 500 V, a été officiellement recommandé pour la Grande Bretagne.

Le charbon et l'eau

Il faut noter qu'un grand nombre de raisons, autres que les raisons financières, ont conduit à électrifier les chemins de fer. Ainsi, la Suisse se préoccupait de ne plus dépendre du charbon importé et de développer ses ressources hydrauliques ; de plus, les longs tunnels et les pentes considérables y rendaient difficile la traction à vapeur. La Suède, également, désirait utiliser son énergie hydro-électrique et réduire ses dépenses en charbon étranger. La France dispose d'énergie hydraulique dans ses départements du Centre et du Midi, éloignés de ses bassins houillers. L'Allemagne développe ses installations hydrauliques, mais utilise aussi de la houille noire dans ses stations centrales. En Italie, il y a beaucoup de puissance hydraulique et pas de charbon ; les tunnels et les pentes y constituent des facteurs importants. Aux Etats-Unis on a eu recours à l'électrification, dans bien des cas, pour accroître la capacité du trafic. Le fait que la Suisse, l'Italie, la Suède et les Etats-Unis continuent à développer l'électrification des chemins de fer, peut être aussi considéré comme une preuve qu'il en résulte une saine économie. De tous les pays, c'est la Suisse qui a la plus grande proportion de chemins de fer électrifiés, soit 2 400 km ou 66 pour cent de la longueur totale de voies et ils transportent 85 pour cent du trafic total.

Le problème dans notre pays est, en quelque sorte, unique. La Grande Bretagne possède un réseau de chemins de fer presque sans rival et le charbon y est abondant. La question est donc surtout économique. A ce point de vue, on peut se référer au « rapport du *Comité d'Electrification des grands réseaux* de 1931 ». D'après les études faites, le nouveau capital à investir pour l'électrification des grandes lignes de Grande-Bretagne serait d'environ 261 000 000 livres, à répartir sur une période de 15 à 20 ans.

De plus, 80 000 000 livres devraient être dépensés par le *Comité Central de l'Electricité* et par les entrepreneurs autorisés, pour fournir l'énergie nécessaire aux sous-stations de traction et enfin 45 000 000 livres devraient être prévues pour les électrifications de banlieues.

Les avantages financiers attendus ne sont pas très attrayants, sauf pour l'électrification suburbaine, mais l'avantage global à prévoir est considéré comme suffisant pour mériter une étude sérieuse. Le projet est toutefois intéressant, car il montre pour la première fois ce

qu'implique le remplacement intégral de la vapeur par la propulsion électrique. L'électrification complète des chemins de fer apparaît comme devant entraîner une immobilisation de capital considérable, dont une grande partie serait absorbée par la voie et par l'équipement des sous-stations. D'autres systèmes, tels que les locomotives à accumulateurs, les locomotives électriques DIESEL et autres, quoique pouvant convenir sur certaines lignes, voies de garage, etc... ne sont pas applicables à un réseau étendu, tels que ceux qu'on envisage.

Ce qui précède explique, dans une large mesure, la position prise actuellement par la Grande Bretagne, en ce qui concerne l'électrification des chemins de fer. La certitude que les constructeurs électriciens anglais sont en mesure d'entreprendre les travaux, résulte amplement du grand développement de l'électrification exécutée par eux au delà des mers. Jusqu'à un certain point, l'électrification des chemins de fer n'a pas été poussée avec autant d'intensité en ce pays que celle des tramways, ce qui est dû aux conditions existantes. Actuellement, toutefois, l'équipement des chemins de fer électrifiés est presque aussi fortement normalisé que celui des tramways.

LA FUSION DES MÉTAUX

L'ÉTABLISSEMENT D'UN FOUR A INDUCTION

Facteurs de production et prix.

par Sir Robert HADFIELD, F. R. S.

Le type le plus moderne de four à induction, connu sous le nom de four sans fer ou de four à induction à haute fréquence, tout en présentant, au point de vue pratique, des progrès techniques importants, reste néanmoins basé sur la découverte de l'induction électromagnétique par FARADAY.

Le type de four à noyau de fer est caractérisé par un flux magnétique intense et par un faible taux de variation du flux, autrement dit, il est à basse fréquence.

L'emploi de courants à haute fréquence permet d'obtenir un effet inductif suffisant, sans nécessiter l'emploi d'un noyau de fer pour concentrer le champ magnétique ou pour coupler les circuits primaire et secondaire.

En outre, il n'est plus nécessaire de donner au secondaire la forme d'un anneau fermé, des circuits secondaires fermés se constituant dans la masse du métal, le long de sa périphérie, où se produisent des « courants de FOUCAULT » ou tourbillonnaires.

Ce dispositif a permis de fondre le métal en une masse cylindrique, dans un creuset de forme facilement réalisable.

Il en résulte, par là même, une supériorité pratique considérable sur la disposition du métal fondu en forme d'anneau du premier type de four à induction à noyau.

Pour les usages industriels dans les ateliers, le four moderne d'induction à haute fréquence est constitué par un creuset ou récipient, autour duquel est enroulée une bobine refroidie par un courant d'eau.

Cette bobine est parcourue par le courant primaire que fournissent les génératrices.

Le four est supporté par un berceau qui peut osciller mécaniquement ou qui est conçu pour se prêter à toutes sortes de manipulations

suivant les nécessités du procédé employé. Ceci entraîne une simplicité et une commodité de construction qui constituent un avantage considérable.

L'équipement électrique varie beaucoup suivant le genre d'opérations à réaliser.

Les premiers modèles de laboratoire employés par Northrup et d'autres, étaient des mécanismes compliqués et délicats. L'appareil de Northrup était constitué par un circuit oscillant, comprenant un éclateur à mercure, une batterie de condensateurs et une bobine d'induction.

Ribaud, à Strasbourg, employait du courant alternatif monophasé dont la tension était élevée à 5 ou 6 000 V par un transformateur statique ; une inductance variable était insérée dans le circuit primaire. Le courant à haute tension ainsi produit traversait un éclateur tournant, actionné par un interrupteur à grande vitesse refroidi à l'eau et inséré dans un circuit oscillant qui comprenait la bobine du four et les condensateurs voulus.

On emploie maintenant, pour les unités de petite capacité, l'oscillateur à lampe thermoionique et il est probable que son emploi sera étendu dans l'avenir même à des unités plus grandes.

Les fours les plus puissants sont actuellement alimentés par des convertisseurs rotatifs à grande vitesse ; l'installation est complétée par une batterie de condensateurs, un panneau de contrôle et une bobine d'induction.

Le refroidissement de la bobine par l'eau est indispensable.

Le corps même du four doit être constitué de matériaux non magnétiques, ou protégé par des écrans magnétiques.

Une des caractéristiques modernes est la bobine graduée, dans laquelle le pas et la forme des spires varient de manière à produire à l'intérieur un champ uniforme et parallèle, sur toute sa longueur, à l'axe de l'inducteur.

Un dispositif de contrôle automatique facilite la surveillance, améliore le facteur de charge et, par suite, abrège la durée de la fusion.

Une des qualités du four à induction sans fer, est la souplesse avec laquelle il se prête aux extensions.

On peut faire fonctionner un certain nombre de fours à haute fréquence, de même tension et de même fréquence, en les alimentant sur les mêmes barres omnibus.

Dispositifs de chauffage et creusets.

Un trait caractéristique du four à induction à haute fréquence, trait qui, à certains égards constitue une infériorité, est ce qu'on appelle l' « effet de source », qui se produit sur la charge fondue dans le creuset.

C'est un mouvement imprimé au métal par les courants d'induction et qui détermine une convexité à la surface supérieure de la matière fondue.

Dans le cas de la fusion de l'acier, cet effet peut supprimer complètement la stabilité d'une scorie nageant à la surface. Le mouvement du métal déplace la scorie radialement vers les parois du creuset auxquelles elle peut finalement adhérer. Toute possibilité de protection par la scorie disparaît alors et l'affinage, qui constitue un des buts importants du traitement de l'acier, ne peut plus être contrôlé.

On a proposé des expédients pour supprimer cet inconvénient ; ils se ramènent au « réglage électrique » du conducteur, obtenu par une disposition convenable du circuit qu'alimentent des prises échelonnées le long de la bobine. Ainsi, le simple maniement d'un interrupteur permet d'éviter la « surélévation » du métal et le niveau du ménisque est abaissé de 8 cm à zéro.

Dans les plus anciennes formes de fours, on employait des creusets et, en général, on les emploie encore dans les types de petites dimensions ; l'espace entre le creuset et la bobine est rempli d'un pisé fortement réfractaire.

La zircone et le silicate de zirconium se sont montrés propres à remplir ce but.

Dans les plus grands fours, on a généralisé l'usage des revêtements d'une seule pièce.

Dans les fours électriques ouverts, on emploie toujours le frittage par la chaleur directe du four.

Dans les fours à induction, cela devient impraticable, si l'on n'emploie pas certains procédés permettant de fournir la chaleur nécessaire au frittage.

On fait usage de plusieurs méthodes, dont l'une consiste à élever la température au moyen d'une masse de graphite suspendue à l'intérieur du four ; une autre consiste à utiliser le gabarit métallique qui constitue le mandrin du revêtement et qui est ensuite fondu lors de la première charge.

Dans un cas comme dans l'autre, la chaleur est fournie, par induction, par la bobine du four.

On préfère, pour les opérations basiques, un mélange de magnésite et de scories basiques affinées.

Dans le cas de garniture acide, on emploie le sable connu sous le nom, de « Tam Zircon », que l'on trouve en Floride, du ganister, schiste calciné, avec les liants nécessaires à l'état sec ou à l'état humide suivant les cas, liants constitués d'acide borique, de mélasse, de silicate de soude, etc... ; il faut veiller aux dimensions des grains pour obtenir une compacité convenable du composé après cuisson.

Les connaissances théoriques et pratiques sur les matières réfractaires sont maintenant telles que les échecs imputables à celles-ci, sont devenus relativement rares ; l'emploi, pour la fusion, de types de fours de plus grandes dimensions, peut être envisagé sans crainte de mécomptes à ce point de vue.

Comparaison des méthodes.

Les divers emplois des fours sont déjà très étendus ; fusion des aciers à outils de qualité supérieure, aciers pour aimants. alliages d'aciers résistant à la chaleur et à la corrosion, alliages de nickel-chrome, matériaux réfractaires spéciaux à haut point de fusion, tels que le carbure de tungstène-chrome-cobalt (point de fusion de 2 000 à 3 000° C), verre de silice et, en général, métaux précieux et non ferreux.

Parmi les avantages de ce procédé de fusion, on peut signaler, dans certains cas, l'amélioration de la qualité, la diminution des pertes à la fusion, la propreté, une facilité considérable de contrôle, la commodité des opérations.

Le taux auquel se développent les fours est actuellement très rapide. Ainsi, en 1925, la puissance des fours en fonctionnement n'atteignait guère qu'un millier de kilowatts; actuellement, elle atteint 25 000 kW en service et il a été construit des fours pour fusion de métaux d'une capacité de 1 500 kg.

La consommation d'énergie varie, bien entendu, considérablement suivant les conditions de l'opération, la nature et les dimensions de la charge. On est arrivé à des consommations d'énergie de l'ordre de 600 kWh par tonne dans des fours pour fusion d'acier de 500 kg à fonctionnement continu.

Le rendement thermique de l'échange d'énergie, représenté par le rapport entre la chaleur utilisée, sensible et latente dans le métal, et

l'équivalent calorique de l'énergie fournie aux barres omnibus des génératrices, varie de 50 à 60 pour cent suivant les conditions locales.

La perte de chaleur dans l'eau de réfrigération est de l'ordre de 10 à 20 pour cent et la perte dans les génératrices est de 11 à 22 pour cent suivant la nature et la capacité de l'équipement du four.

Le coût de l'opération, qui dépend de la lourde charge du capital investi, doit naturellement régir les applications du procédé.

Si on veut le comparer avec les autres, on se heurte à des données très compliquées, conditions inhérentes à l'usine, nature de la substance à fondre, sujétions générales entre la fusion et les autres opérations de l'usine. On peut, cependant, donner quelques indications générales.

En ce qui concerne le prix de l'énergie comparé à celui du combustible utilisé, par exemple, dans l'ancien procédé au creuset, le prix de l'énergie électrique est maintenant notablement plus bas que celui du coke pour des productions comparables.

La main-d'œuvre par tonne fondue est aussi notablement moindre, le four à induction à haute fréquence pouvant donner une production supérieure par homme et par heure.

Pour le prix des matières réfractaires, la différence est aussi très marquée en faveur du four à induction.

Les frais d'entretien sont généralement faibles avec le four électrique.

Les commodités d'emploi et de construction, les économies indirectes possibles en dehors de la fusion proprement dite, ont aussi une valeur qui, avec les facteurs précédents compense, pour un nombre croissant de procédés, l'élévation du capital investi.

Un autre facteur qui agit dans le même sens est la possibilité d'obtenir, dans un four de faible capacité, une forte production d'acier en un temps donné.

Si nous comparons le four à induction à haute fréquence à l'ancien four à arc pour fusion de l'acier, nous devons nous souvenir que le premier n'a jusqu'ici été utilisé que comme appareil de fusion, tandis que le second peut amener l'acier à un haut degré d'affinage.

Cette conséquence moderne de la grande découverte due à Faraday, apporte à l'industrie, pour la fusion des métaux et autres matériaux, une technique nouvelle et simplifiée, qui fait entrevoir l'inauguration d'une ère nouvelle dans l'industrie métallurgique.

L'ÉLECTRICITÉ A LA MAISON

UNE SERVANTE LABORIEUSE

La machine économise le travail

par Caroline HASLETT, C. B. E.

L'électricité, sous une forme ou sous une autre, affecte notre vie à tous, dans notre demeure, sur la voie publique, dans les mines, dans les usines, dans les bureaux, dans les véhicules, dans tous les procédés variés auxquels les gens ont recours pour épargner leur temps chez eux ou hors de chez eux, dans les sports, dans les plaisirs.

On peut dire que la vie est impossible sans le soleil, mais pour autant qu'une force quelconque puisse lui être substituée, c'est l'électricité qui la fournira.

Les gens se portent mieux, ils peuvent accomplir leur travail avec moins de fatigue, maintenir leur esprit plus alerte, grâce à un éclairage meilleur et mieux compris, qui supprime l'effort oculaire avec les inconvénients physiques qui en résultent.

L'emploi curatif de l'électricité apporte aussi de grands changements au bien-être des enfants; comme agent préventif ou curatif d'une maladie, personne ne peut actuellement indiquer une limite au potentiel du traitement par les radiations ultra-violettes, soit à la nursery, soit pour remonter l'organisme après un grand effort physique ou nerveux.

La transformation que l'électricité peut apporter à l'existence et aux travaux d'une maîtresse de maison est remarquable. Intelligemment employée, elle permettra, dans l'avenir, de supprimer à la maison tout travail pénible, tout travail manuel trop dur. Déjà elle a permis beaucoup de progrès en ce sens.

Le cuiseur électrique est devenu très efficace ; sa propreté et la facilité qu'il donne de régler la température au cours de la cuisson, intéressent vivement la ménagère moderne. Le radiateur électrique est bien conçu, sa mobilité et sa commodité d'emploi assurent sa popularité.

De nombreuses formes de chauffage électrique méritent maintenant d'êtres prises en considération, telles le chauffage par panneaux dans les murs ou le plafond, ou le chauffage tubulaire par éléments à basse température, placés en tubes, d'ordinaire le long des plinthes. Un trait caractéristique de ces nouvelles méthodes est de permettre le réglage au thermostat et de supprimer le gaspillage occasionné par les étourdis qui oublient d'ouvrir l'interrupteur.

Pour les nettoyages domestiques, l'électricité est le seul agent extérieur qui puisse aider la ménagère ; l'aspirateur électrique et le cireur de plancher sont souvent les premiers serviteurs électriques qui font leur entrée dans la maison.

L'élimination des corvées

La machine à laver ne semble pas être aussi répandue en Angleterre qu'en Amérique, en raison sans doute du prix élevé des appareils.

Lorsque la ménagère anglaise constatera l'énorme économie qu'on peut en attendre à la fois en argent et en travail, l'emploi de cette machine deviendra beaucoup plus large.

J'ai vu récemment une installation où le blanchissage d'une famille de six personnes est complètement fait à la maison en deux heures ; autrefois, une journée entière était nécessaire à la maîtresse de maison et à sa servante pour accomplir la même tâche laborieuse.

Le repassage aussi est facilité par les excellents fers électriques actuels dont beaucoup sont munis de coupe-circuits automatiques empêchant le gaspillage du courant. Dans les secteurs où les tarifs sont favorables, le chauffage électrique de l'eau donne une nouvelle possibilité d'économie de main-d'œuvre. Quelques sociétés de distribution ont un tarif spécial très bas pour le chauffage de nuit par accumulation, qui est un grand bienfait pour les maîtresses de maison.

La cuisine électrique moderne, bien établie, munie d'appareils électriques, fait appel à l'intelligence et flatte l'orgueil de la femme moderne, qui se refuse à consacrer des heures à une tâche fastidieuse que la machine peut faire beaucoup mieux qu'elle-même. Le ventilateur et la machine à coudre électriques, le mélangeur de pâtisserie et autres appareils à moteur lui épargnent nombre de travaux manuels. Les appareils électriques de table obtiennent beaucoup de succès en Angleterre, surtout auprès des célibataires des 2 sexes et de ceux qui, habitant un petit appartement, font cuire leur repas à table.

Le frigidaire s'impose dans les habitations modernes.

Tandis que la plupart des serviteurs électriques sont à la portée de

ceux qui ont de l'argent à dépenser, les pauvres gens qui, après tout, auraient plus besoin encore d'avoir chez eux de tels auxiliaires, se heurteraient de suite à l'obstacle insurmontable de faire exécuter l'installation intérieure nécessaire au service électrique. Quelques-unes des sociétés de distribution, parmi les plus entreprenantes, tournent la difficulté en adoptant des combinaisons d' « aide aux installations », grâce auxquelles la ménagère, au lieu d'avoir à payer de suite son installation, peut n'en payer que l'intérêt ou la payer à terme. Dans beaucoup de maisons neuves, les municipalités font faire l'installation électrique au moment même de la construction.

Un autre problème auquel le maître de maison doit faire face est celui de l'achat des appareils et ici encore plusieurs systèmes sont pratiqués qui permettent de les prendre en location ou de réaliser une location-vente moyennant des versements à termes modérés.

Au cours de plusieurs conférences récentes tenues dans tout le pays avec des compagnies de distribution, notre ministre des transports a exprimé le désir de voir se développer l'aide aux installations et les facilités de paiement, de manière que les services électriques puissent devenir accessibles à un plus grand nombre de consommateurs.

La multiplicité des tarifs dans l'ensemble du pays est très troublante pour une maîtresse de maison et l'on peut espérer qu'avant longtemps il sera possible d'obtenir, en même temps qu'une forme plus simple de tarifs, une plus grande uniformité des prix.

L'intérêt porté par les femmes au progrès de l'électricité pendant les six dernières années a sans aucun doute, incité les distributeurs et les constructeurs à satisfaire leurs désirs.

Le fait que les ingénieurs électriciens se sont enquis des préférences féminines pour établir les cuiseurs et d'autres appareils domestiques, nous assure, non seulement que ces appareils seront électriquement bien construits, mais qu'ils répondront aussi aux besoins de la ménagère.

L'Electricité à la campagne

L'intérêt que la *Fédération Nationale des Instituts Féminins* a pris à l'électrification rurale, devrait accélérer le développement de l'électricité dans les bourgs et dans les villages.

Le *Comité de l'Enseignement*, se rendant compte que la jeune fille d'aujourd'hui doit être pourvue de quelques connaissances en électricité a, au cours des deux dernières années, organisé pour les professeurs un court enseignement d'électricité domestique.

Si l'électrification domestique est sans aucun doute en rapide progrès dans ce pays, nous en sommes encore aujourd'hui à la période où elle ne peut répondre largement qu'aux conditions ménagères d'une génération antérieure.

Déjà, cependant, nos architectes commencent à concevoir des maisons construites pour le service électrique, où l'on disposera du maximum possible de lumière et de soleil grâce, soit au soleil lui-même, soit à la lumière électrique ; où le chauffage de la maison sera contrôlé par thermostat, où les nids à poussière et les travaux épuisants seront inconnus.

L'électricité, dans la maison future, simplifiera la tenue de notre intérieur, son éclairage et son chauffage et apportera sa propre contribution aux problèmes de l'architecture.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET *Le gérant :* Alfred MAGNIER.